6-3 光分子科学研究領域

光分子科学第一研究部門

岡 本 裕 巳 (教授) (2000年11月1日着任)

A-1) 専門領域：ナノ光物理化学

A-2) 研究課題：

- a) 先端的な近接場分光法の開発とその利用研究
- b) 金属ナノ構造におけるプラズモン波，増強電場のイメージングとダイナミクス
- c) ナノ構造物質におけるキラリティと局所的な光学活性
- d) 光によるナノ物質の力学操作手法の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) ナノ構造物質の観察と，特徴的な光学的性質，励起状態の超高速ダイナミクス等を探るための，近接場分光イメージング装置の開発を行い，並行して試料の測定を行っている。着任後測定装置の構築に取り組み，基本的なシステムの完成後プラズモン物質を中心にナノ光学の研究に用いてきた。光学像の横方向分解能は 50 nm 程度である。現在これを主に二つの方向に展開している。極めて短寿命のプラズモンの動的過程を直接観測する目的で超高速近接場計測を行うため，超短レーザーパルスと空間位相変調による分散補償を導入した装置を開発し，近接場で最短約 14 fs のパルス幅を実現した。これによりプラズモンの時空間ダイナミクスの観測に成功した。また近接場円二色性イメージングの装置を開発し，2次元金属ナノ構造の局所光学活性の研究を行っている。
- b) 各種形状貴金属ナノ構造体の分光及びダイナミクスのイメージング計測を行っている。微粒子及び集合体の近接場分光測定により，プラズモンモードの波動関数の二乗振幅や微粒子周辺の増強電場のイメージが得られることを見だし，その展開を図った。電子線描画装置，フェムト秒広帯域波長可変光源等を導入し，体系的にナノ構造試料作製，光場の空間構造と分光特性の近接場測定を進めた。またプラズモンのダイナミクスを直接観測可能な超高速近接場計測系により，プラズモンの位相緩和のほか，複数のプラズモンモードを同時励起した後のプラズモン波束の運動を可視化した。これはナノ物質励起の時空間コヒーレント制御に向けた重要なステップに位置付けられる。
- c) 2次元のキラルな構造を持つ金ナノ構造体を電子線描画法で作成し，開発を進めている近接場局所偏光解析イメージング装置を用い，局所的な光学活性を測定している。局所的な円二色性信号が巨視的な円二色性信号に比べて極めて大きくなることを見出し，また局所的な強い光学活性がナノ構造内の遠隔的な電磁気学相互作用で現れていることが明らかになる等，幾つかの基礎的に重要な結果が得られている。また高い対称性を持つアキラルな金属ナノ長方形構造において，巨視的な光学活性は当然現れないが，局所的には強い光学活性を示しており，それを平均すると全体の光学活性がほぼ0となっていることを，円二色性イメージングによって明確に示した。これらの発展として，金属ナノ構造と分子とのキラルな光学的相互作用に関する研究を，英国との共同研究として開始した。また金属ナノ構造における局所的に強くねじれた光の特性を更に解明し制御するための実験法の開発も，継続して推進している。

- d) レーザー光を強く集光すると、その焦点に微粒子がトラップされる(光トラッピング)。この時入射光にフェムト秒レーザーパルスを用いることで、非線形誘起分極によって、従来の光トラッピングとは全く異なる挙動を示すことを、数年前に報告した。非線形効果、共鳴効果を有効利用することで、このような光による力学的マニピュレーションの自由度が格段に広がることが予想され、この研究展開を図ることを、今後の研究の今一つの柱とする。

B-1) 学術論文

T. NARUSHIMA, S. HASHIYADA and H. OKAMOTO, “Optical Activity Governed by Local Chiral Structures in Two-Dimensional Curved Metallic Nanostructures,” *Chirality* **28**, 540–544 (2016).

T. NARUSHIMA and H. OKAMOTO, “Circular Dichroism Microscopy Free from Commingling Linear Dichroism via Discretely Modulated Circular Polarization,” *Sci. Rep.* **6**, 35731 (2016).

Y. NISHIYAMA and H. OKAMOTO, “Near-Field Nonlinear CD Imaging of Single Gold Nanostructures,” *J. Phys. Chem. C* **120**, 28157–28162 (2016).

B-4) 招待講演

Y. NISHIYAMA, K. IMURA and H. OKAMOTO, “Spatio-Temporal Observation of Plasmon Dynamics by Ultrafast Near-Field Microscopy,” 9th Asian Conference on Ultrafast Phenomena, Manila (Philippines), February 2016.

T. NARUSHIMA, S. HASHIYADA and H. OKAMOTO, “Near-Field Circular Dichroism Imaging to Design Optically Active Nanomaterials,” 11th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS 2016), Matsushima (Japan), April 2016.

H. OKAMOTO, Y. NISHIYAMA and K. IMURA, “Observation of Plasmon Wave Packet Motions with Ultrafast Near-Field Microscopy,” 7th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META’16), Malaga (Spain), July 2016.

H. OKAMOTO, Y. JIANG and T. NARUSHIMA, “Effects of nonlinear polarization in optical trapping,” PIERS (Progress In Electromagnetics Research Symposium) 2016 in Shanghai, Shanghai (China), August 2016.

H. OKAMOTO, Y. NISHIYAMA, K. IMAEDA and K. IMURA, “Near-Field Optical Imaging of Ultrafast Dynamics in Gold Nanorods,” PIERS (Progress In Electromagnetics Research Symposium) 2016 in Shanghai, Shanghai (China), August 2016.

井村考平, 今枝佳祐, 溝端秀聡, 西山嘉男, 岡本裕巳, 「近接場顕微分光手法の拡張とプラズモン研究への応用」, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟, 2016年9月.

H. OKAMOTO, “Near-Field Imaging of Plasmons: Field Structures, Propagation Dynamics, Chirality,” Optics & Photonics Japan 2016, OSJ-OSA Joint Symposia on Plasmonics and Digital Photonics, Tokyo (Japan), October 2016.

成島哲也, 「ナノマテリアルが示す光学活性の起源を探る: 円二色性ナノイメージング」, 第10回日本化学会東海支部若手研究者フォーラム~理論と実験から探る, マクロとミクロをつなぐケミストリー~, 名古屋, 2016年11月.

岡本裕巳, 「キラルプラズモンの局所的な光学活性」, 第4回豊田理研ワークショップ「キラル対称系の電磁応答」, 名古屋, 2016年11月.

B-5) 特許出願

特願 2015-257226, 「円偏光照射器, 分析装置及び顕微鏡」, 岡本裕巳, 成島哲也(自然科学研究機構), 2015年.

B-6) 受賞, 表彰

岡本裕巳, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (1994).
岡本裕巳, 分子科学研究奨励森野基金 (1999).
井村考平, 応用物理学会講演奨励賞 (2004).
井村考平, ナノオプティクス賞 (2005).
井村考平, 分子構造総合討論会奨励賞 (2005).
井村考平, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (2007).
井村考平, 日本化学会進歩賞 (2007).
井村考平, 日本分光学会賞(奨励賞) (2007).
原田洋介, ナノオプティクス賞 (2010).
岡本裕巳, 日本化学会学術賞 (2012).
成島哲也, Yamada Conference LXVI Best poster award (Young Scientist) (2012).
橋谷田俊, 日本光学会 OPJ ベストプレゼンテーション賞 (2013).
西山嘉男, 日本分光学会年次講演会一般講演賞 (2014).
橋谷田俊, 日本化学会第95春季年会学生講演賞 (2015).
橋谷田俊, 第9回分子科学討論会分子科学会優秀ポスター賞 (2015).
西山嘉男, The 3rd Optical Manipulation Conference Outstanding Award (2016).
橋谷田俊, The Best Poster Presentation Award, NFO-14 (2016).
橋谷田俊, OSJ-OSA Joint Symposia Student Award (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等員

日本化学会トピックス小委員会委員 (1993–1996).
日本分光学会編集委員 (1993–2001).
日本分光学会東海支部幹事 (2001–2012).
日本化学会東海支部常任幹事 (2003–2005).
分子科学研究会事務局 (2004–2006).
分子科学会運営委員 (2006–2008).

学会の組織委員等

The International Symposium on New Developments in Ultrafast Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Tokyo), Organizing Committee (1995).
The Tenth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Okazaki), Local Executive Committee (2001).
The Twentieth International Conference on Raman Spectroscopy (Yokohama), Local Organizing Committee (2006).
International Workshop on Soft X-ray Raman Spectroscopy and Related Phenomena (Okazaki), Local Organizing Committee (2006).
The 12th Korea-Japan Joint Symposium on Frontiers of Molecular Science (Jeju), Co-chair (2007).

Japan-Korea Joint Symposium on Molecular Science 2009 “Chemical Dynamics in Materials and Biological Molecular Sciences” (Awaji), Co-chair, Secretary general (2009).

The 7th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (Jeju), Technical Program Committee (2009).

Yamada Conference LXVI: International Conference on the Nanostructure-Enhanced Photo-Energy Conversion, Programming Committee (2012).

1st Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2014, Program Committee (2014).

2nd Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2015, Program Committee (2015).

3rd Optical Manipulation Conference, Optics & Photonics International Congress 2016, Program Committee (2016).

The 14th International Conference on Near-Field Optics, Nanophotonics and Related Techniques, Local Organizing Committee (2016).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員 (2006–2007).

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (2008–2010).

日本学術振興会国際事業委員会書面審査員 (2008–2010).

文部科学省研究振興局科学研究費補助金における評価に関する委員会 (理工系委員会) 委員 (評価者) (2010–2012).

日本学術振興会学術システム研究センター専門研究員 (2013–).

学術誌編集委員

Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Advisory Board (2012–).

その他

スーパーサイエンスハイスクール (愛知県立岡崎高等学校) 活動支援 (2003, 2004).

総合研究大学院大学物理科学研究科副研究科長 (2010–2012).

総合研究大学院大学物理科学研究科研究科長 (2012–2014).

分子科学研究所運営会議議長 (2014–).

自然科学研究機構教育研究評議員 (2016–).

B-8) 大学での講義, 客員

国立交通大学 (台湾), 「Micro- and nano-scope optical activity measurements」, 2016年5月6日.

総合研究大学院大学物理科学研究科, 「構造光科学」, 2016年7月5日–8日.

B-10) 競争的資金

科研費萌芽研究, 「近接場分光法による素励起の波動関数イメージング」, 岡本裕巳 (2005年–2007年).

科研費特定領域研究「極微構造反応」(公募研究), 「極微構造における素励起の時空間コヒーレンスの超高時間分解近接場分光」, 岡本裕巳 (2005年–2007年).

科研費基盤研究(A), 「ナノ微粒子系の波動関数と励起状態の動的挙動」, 岡本裕巳 (2006年–2010年).

池谷科学技術振興財団研究助成, 「固体表面・界面歪みの利用を目的とした2次元高精度歪み検出系開発」, 成島哲也 (2007年).

科研費特定領域研究「光-分子強結合場」(計画研究), 「近接場顕微分光に基づく光反応場の動的可視化・制御」, 岡本裕巳 (2007年–2011年).

科研費挑戦的萌芽研究,「ナノ円二色性イメージングの開発と分子集合体キラリティ」,岡本裕巳(2009年-2011年).
 科研費基盤研究(S),「ナノドット配列における結合励起状態の時空間特性と励起場制御」,岡本裕巳(2010年-2015年).
 科研費若手研究(B),「近接場光励起領域近傍の空間分解分光イメージング」,成島哲也(2011年-2014年).
 科研費特別研究員奨励費,「超高速時間分解分光法を用いたイオン液体中における光解離反応過程の解明」,西山嘉男(2011年-2012年).
 二国間交流事業共同研究(英国との共同研究),「ナノフォトニック物質の光電場構造・ダイナミクス解析」,岡本裕巳(2012年-2014年).
 科研費若手研究(B),「近接場超短パルスによるプラズモン波束のコヒーレント制御」,西山嘉男(2013年-2015年).
 光科学技術研究振興財団研究助成,「キラル物質に都合の良い光電場の発生とその相互作用に関する研究」,成島哲也(2013年-2015年).
 科研費基盤研究(C),「局所的に発現するナノ構造の強い光学活性の実態解明と物質系との相互作用への展開」,成島哲也(2014年-).
 科学技術振興機構さきがけ研究,「強い局所光学活性を利用したキラル光デバイス」,成島哲也(2014年-).
 科研費基盤研究(A),「キラルなプラズモン励起による不斉光化学場の展開」,岡本裕巳(2015年-).
 科研費挑戦的萌芽研究,「金属ナノ構造に誘起される局所的円偏光電場による磁性体中の磁化制御」,岡本裕巳(2015年-).
 科研費特別研究員奨励費,「金ナノ構造体の強い局所光学活性によるキラル光化学反応場の開拓」,橋谷田俊(2015年-).
 科研費特定領域研究(計画研究),「光圧を創る:物質自由度を活用した捜査の高度化」,岡本裕巳(2016年-).

C) 研究活動の課題と展望

近接場分光イメージングによる研究を推進し,金属ナノ構造体に関して波動関数や光電場の空間分布をイメージするという独自の研究領域を拓く事ができた。金属ナノ構造による光の局在化や増強などの性質・機能に関する新たな情報と方法論を提供し,多くの追従研究を生んだと考えている。並行して測定波長域の拡大や,試料設計・作製のための新装置導入,近接場計測装置の高度化等を行い,研究を次のフェーズに進めてきた。時間分解近接場分光では,10 fs レベルの時間分解能で近接場測定を実現し,金属ナノ構造の多モードコヒーレント励起後の時空間ダイナミクスのイメージングが可能となるなど,一つの山を越える段階に到達したと考えている。これを更に今後どのように展開するか,可能性を探ることが一つの課題であるが,非常に高度な技術を要する実験であり,困難も大きい。今一つのベクトルとして進めているナノ物質のキラリティの研究では,金属ナノ構造の光学活性イメージングによって,独自の実験的情報を得ることができた。対称性の高いアキラルな構造でも局所的に強い光学活性を示すという,ユニークな成果も得られた。近接場円二色性イメージングは今後様々なナノ構造光学活性物質の機能解明のための有力な実験手法になることを期待している。この実験手法で得られた成果をもとに,新たなキラル物質機能の研究へ展開することも,高いポテンシャルを持つものとして重点的に考えており,すでに国外との共同研究を開始している。また物質および光のキラリティは磁性との相関においても興味を持たれ,ナノ光学の観点からこの方向への研究展開についても検討を開始し,一部実際の共同研究も始めた。通常の回折光学系による顕微鏡で精度の高い円二色性イメージングを可能とする装置開発も行なっており,これは物質開発,生物科学,結晶学等の様々な分野の研究者から興味を持って頂いている。一方これらとは異なる研究課題として,微粒子の光トラッピングに関わる独自の新たな研究萌芽(非線形共鳴光トラッピング)を見出し数年前に発表した。時を前後して国内で光圧(散乱力,勾配力)に関する新たな展開が勃興し,関連する研究を行っている研究者が集まって,今般新学術領域研究を発足した。光圧によるナノ物質・分子の力学操作に関する新たな展開を図るべく,この研究領域にも注力していく計画である。

光分子科学第二研究部門

大 森 賢 治（教授）（2003年9月1日着任）

A-1) 専門領域：量子物理学，原子分子光物理学，量子情報科学，物理化学

A-2) 研究課題：

- a) アト秒精度のコヒーレント制御法の開発
- b) 量子論の検証実験
- c) コヒーレント分子メモリーの開発
- d) 分子ベースの量子情報科学
- e) 強レーザー場非線形過程の制御
- f) 超高速量子シミュレーターの開発
- g) バルク固体の極限コヒーレント制御

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) コヒーレント制御は、物質の波動関数の位相を操作する技術である。その応用は、量子コンピューティングや結合選択的な化学反応制御といった新たなテクノロジーの開発に密接に結び付いている。コヒーレント制御を実現するための有望な戦略の一つとして、物質の波動関数に波としての光の位相を転写する方法が考えられる。例えば、二原子分子に核の振動周期よりも短い光パルスを照射すると、「振動波束」と呼ばれる局在波が結合軸上を行ったり来たりするような状態を造り出す事ができる。波束の発生に際して、数フェムト秒からアト秒のサイクルで振動する光電場の位相は波束を構成する各々の振動固有状態の量子位相として分子内に保存されるので、光学サイクルを凌駕する精度で光の位相を操作すれば波束の量子位相を操作することができる。我々はこの考えに基づき、独自に開発したアト秒位相変調器（APM）を用いて、二つのフェムト秒レーザーパルス間の相対位相をアト秒精度で操作するとともに、このパルス対によって分子内に発生した二つの波束の相対位相を同様の精度で操作する事に成功した。さらに、これらの高度に制御された波束干渉の様子を、ピコメートルレベルの空間分解能とフェムト秒レベルの時間分解能で観測する事に成功した。
- b) APMを用いて、分子内の2個の波束の量子干渉を自在に制御する事に成功した。また、この高精度量子干渉をデコヒーレンス検出器として用いる事によって、熱的な分子集団や固体中の電子的なデコヒーレンスを実験的に検証した。さらに、固体パラ水素中の非局在化した量子状態（vibron）の干渉を観測し制御する事に成功した。
- c) 光子場の振幅情報を分子の振動固有状態の量子振幅として転写する量子メモリーの開発を行なった。ここでは、フェムト秒光パルス対によって分子内に生成した2個の波束間の量子位相差をアト秒精度で操作し、これらの干渉の結果生成した第3の波束を構成する各振動固有状態のポピュレーションを観測することによって、光子場の振幅情報が高精度で分子内に転写されていることを証明することができた。また、フェムト秒光パルス対の時間間隔をアト秒精度で変化させることによって波束内の固有状態のポピュレーションの比率を操作できることを実証した。さらに、固体パラ水素中の振動量子状態（vibron）の位相情報の2次元分布を操作し可視化することによって、固体2次元位相メモリーの可能性を実証することに成功した。
- d) 分子メモリーを量子コンピューターに発展させるためには、c)で行ったポピュレーション測定だけでなく、位相の測定を行う必要がある。そこで我々は、c)の第3の波束の時間発展を別のフェムト秒パルスを用いて実時間観測した。

これによって、ポピュレーション情報と位相情報の両方を分子に書き込んで保存し、読み出すことが可能であることを実証した。振動固有状態の組を量子ビットとして用いる量子コンピューターの可能性が示された。さらに、分子波束を用いた量子フーリエ変換を開発した。

- e) 分子の振動波束を構成する振動固有状態の振幅と位相を強レーザー場で制御することに成功した。
- f) 強相関・極低温リユードベリ原子集団の超高速・多体・電子ダイナミクスを、超短パルスレーザーで実時間観測し制御するための新しい実験手法を開発した。
- g) バルク固体中の原子の超高速2次元運動をフェムト秒単位で制御し画像化する新しい光技術を開発した。

B-1) 学術論文

N. TAKEI, C. SOMMER, C. GENES, G. PUPILLO, H. GOTO, K. KOYASU, H. CHIBA, M. WEIDEMÜLLER and K. OHMORI, “Direct Observation of Ultrafast Many-Body Electron Dynamics in an Ultracold Rydberg Gas,” *Nat. Commun.* **7**, 13449 (2016).

C. SOMMER, G. PUPILLO, N. TAKEI, S. TAKEDA, A. TANAKA, K. OHMORI and C. GENES, “Time-Domain Ramsey Interferometry with Interacting Rydberg Atoms,” *Phys. Rev. A* **94**, 053607 (16 pages) (2016).

H. KATSUKI and K. OHMORI, “Simultaneous Manipulation and Observation of Multiple Ro-Vibrational Eigenstates in Solid Para-Hydrogen,” *J. Chem. Phys.* **145**, 124316 (9 pages) (2016).

B-3) 総説, 著書

大森賢治, 「アト秒精度のコヒーレント制御の開発と応用」, *月刊オプトロニクス* 2016年10月号 (2016).

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

K. OHMORI, “Many-Body Physics: The Holy Grail of Modern Sciences and Technologies,” State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, Shanxi University, Taiyuan (China), November 2016.*

K. OHMORI, “Addressing Quantum Many-Body Dynamics by Ultrafast Coherent Control with Attosecond Precision,” CQD-IMS Collaborative Meeting “Rydberg Quantum Matter,” Heidelberg (Germany), June 2016.*

K. OHMORI, “Many-Body Physics: The Holy Grail of Modern Sciences and Technologies,” 1st International Symposium on Advanced Photonics (ISAP), Hamamatsu (Japan), April 2016.*

K. OHMORI, “Direct Observation and Control of Ultrafast Many-Body Electron Dynamics in a Strongly-Correlated Ultracold Rydberg Gas,” OIST Mini Symposium “Rydberg Atoms for Quantum Technologies,” Okinawa (Japan), March 2016.*

大森賢治, 「量子力学に残された100年の謎に迫る」, 浜松ホトニクス中央研究所, 浜松(日本), 2016年7月.*

大森賢治, 「アト秒精度の超高速光量子シミュレーター: 超多体ダイナミクス専用プラットフォームの開発」, 計算分子科学研究拠点第6回研究会, 岡崎(日本), 2016年3月.*

大森賢治, 「量子力学に残された100年の謎に迫る」, 日立中央研究所, 鳩山(日本), 2016年1月.*

B-6) 受賞, 表彰

大森賢治, 独フンボルト賞 (2012).

大森賢治, アメリカ物理学会フェロー表彰 (2009).

大森賢治, 日本学士院学術奨励賞 (2007).
大森賢治, 日本学術振興会賞 (2007).
大森賢治, 光科学技術研究振興財団研究表彰 (1998).
大森賢治, 東北大学教育研究総合奨励金 (1995).
香月浩之, 英国王立化学会 PCCP 賞 (2009).
香月浩之, 光科学技術研究振興財団研究表彰 (2008).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

分子科学研究会委員 (2002–2006).
分子科学会設立検討委員 (2005–2006).
分子科学会運営委員 (2006–2007, 2010–2017).
原子衝突研究協会運営委員 (2006–2007).

学会の組織委員等

International Conference on Spectral Line Shapes 国際プログラム委員 (1998–).
21st International Conference on the Physics of Electronic and Atomic Collisions 準備委員, 組織委員 (1999).
The 5th East Asian Workshop on Chemical Reactions 組織委員長 (2001).
分子構造総合討論会実行委員 (1995).
第19回化学反応討論会実行委員 (2003).
原子・分子・光科学 (AMO) 討論会プログラム委員 (2003–).
APS March meeting; Focus Topic Symposium “Ultrafast and ultrahighfield chemistry” 組織委員 (2006).
APS March meeting satellite “Ultrafast chemistry and physics 2006” 組織委員 (2006).
第22回化学反応討論会実行委員 (2006).
8th Symposium on Extreme Photonics “Ultrafast Meets Ultracold” 組織委員長 (2009).
The 72nd Okazaki Conference on “Ultimate Control of Coherence” 組織委員 (2013).
A Peter Wall Colloquium Abroad and The 73rd Okazaki Conference on “Coherent and Incoherent Wave Packet Dynamics” 組織委員 (2013).
1st International Symposium on Advanced Photonics “Quantum Many-Body Science and Technology” 組織委員 (2016).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術・学術審議会量子科学技術委員会専門委員 (主査代理) (2015–).
日本学術振興会日仏先端科学シンポジウム PGM (2010–2012).
日本学術振興会 HOPE ミーティング事業委員 (2012–2016).
日本学術振興会日独学術コロキウム学術幹事 (2013–2014).
European Research Council (ERC), Invited Panel Evaluator.
European Research Council (ERC), Invited Expert Referee.

学会誌編集委員

Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, International Advisory Board (2015–).

その他

平成16年度安城市シルバーカレッジ「原子のさざ波と不思議な量子の世界」

岡崎市立小豆坂小学校 第17回・親子おもしろ科学教室「波と粒の話」

立花隆+自然科学研究機構シンポジウム 爆発する光科学の世界——量子から生命体まで——「量子のさざ波を光で制御する」

B-8) 大学での講義, 客員

University of Heidelberg, 客員教授, 2012年-

University of Strasbourg, 客員教授, 2014年-2016年.

B-10) 競争的資金

科研費特別推進研究, 「アト秒精度の超高速コヒーレント制御を用いた量子多体ダイナミクスの探求」, 大森賢治 (2016年-2021年).

科学技術振興機構CREST 研究, 「アト秒精度の凝縮系コヒーレント制御」, 大森賢治 (2010年-2016年).

科研費基盤研究(A), 「アト秒ピコメートル精度の時空間コヒーレント制御法を用いた量子/古典境界の探索」, 大森賢治 (2009年-2011年).

科研費特別研究員奨励費, 「非線形波束干渉法の開発とデコヒーレンスシミュレーターへの応用」, 大森賢治 (2009年-2010年).

科研費特別研究員奨励費, 「極低温原子分子の超高速コヒーレント制御」, 大森賢治 (2008年-2010年).

科研費基盤研究(B), 「遺伝アルゴリズムを用いたデコヒーレンスの検証と制御法の開発」, 大森賢治 (2006年-2007年).

科研費基盤研究(A), 「サブ10アト秒精度の量子位相操作と単一分子量子コンピューティング」, 大森賢治 (2003年-2005年).

科研費特定領域研究(2) 「強レーザー光子場における分子制御」計画班, 「単一原子分子のアト秒コヒーレント制御」, 大森賢治 (2003年-2005年).

C) 研究活動の課題と展望

今後我々の研究グループでは, APMを高感度のデコヒーレンス検出器として量子論の基礎的な検証に用いると共に, より自由度の高い量子位相操作技術への発展を試みる。そしてそれらを希薄な原子分子集団や凝縮相に適用することによって, 「アト秒量子エンジニアリング」と呼ばれる新しい領域の開拓を目指している。当面は以下の4テーマの実現に向けて研究を進めている。

- ① デコヒーレンスの検証と抑制: デコヒーレンスは, 物質の波としての性質が失われて行く過程である。量子論における観測問題と関連し得る基礎的に重要なテーマであるとともに, テクノロジーの観点からは, 反応制御や量子情報処理のエラーを引き起こす主要な要因である。その本質に迫り, 制御法を探索する。
- ② 量子散逸系でのコヒーレント制御の実現: ①で得られる知見をもとにデコヒーレンスの激しい凝縮系でのコヒーレント制御法を探索する。
- ③ 分子ベースの量子情報科学の開拓: 高精度の量子位相操作によって分子内の振動固有状態を用いるユニタリ変換とそれに基づく量子情報処理の実現を目指す。さらに, 単一分子の操作を目指して, 冷却分子の生成を試みる。
- ④ レーザー冷却された原子集団のコヒーレント制御: レーザー冷却された原子集団への振幅位相情報の書き込みとその時間発

展の観測・制御。さらに極低温分子の生成とコヒーレント制御。これらを通じて、多体量子問題のシミュレーション実験、量子情報処理、極低温化学反応の観測と制御を目指す。

これらの研究の途上で量子論を深く理解するための何らかのヒントが得られるかもしれない。その理解はテクノロジーの発展を促すだろう。我々が考えている「アト秒量子エンジニアリング」とは、量子論の検証とそのテクノロジー応用の両方を含む概念である。

光分子科学第三研究部門

小 杉 信 博 (教授) (1993 年 1 月 1 日着任)

A-1) 専門領域：軟X線光化学, 光物性

A-2) 研究課題：

- a) 軟X線吸収分光法, 光電子分光法による分子間相互作用の研究
- b) 内殻励起の理論アプローチの開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軟X線吸収分光法, 光電子分光法による分子間相互作用の研究：本グループでは内殻励起・光電子スペクトルを 1–10 meV オーダーで精密かつ系統的に観測することで、励起・イオン化した原子周辺の局所的な分子間相互作用の様子が明らかにできることを示してきた。特に最近、その場観測用軟X線吸収試料セルを開発することによって、混合液体や固液界面反応系にも研究対象を拡大している。さらに、集光軟X線ビームと組み合わせることで、ナノスケール化学状態マッピングの開拓的研究に取り組んでいる。例えば、溶液（二成分液体）の溶質の周りの局所的な配位構造や電子構造を解明することに成功している。電極反応や触媒反応のその場観測やこれまでバンド形成が見つからなかったような弱い分子間相互作用によるバンド分散の観測等にも成功している。
- b) 内殻励起の理論アプローチの開発：本グループで独自開発している軟X線内殻スペクトルの量子化学計算コード GSCF3 は世界の放射光施設（スウェーデン MAX, 米 ALS, 独 BESSY, カナダ CLS, 仏 SOLEIL, 伊 ELETTRA など）の実験研究者によって簡単な分子から高分子などの大きな分子まで 10 年以上前から活用されている。最近、内殻励起の実験研究が進み、多電子励起、スピン軌道相互作用、円偏光度などの新たな測定結果に対しても理論解析が要求されるようになった。そのため、新たに内殻励起計算用量子化学 CI コード GSCF4 の開発・整備を進めている。

B-1) 学術論文

- T. FRANSSON, Y. HARADA, N. KOSUGI, N. A. BESLEY, B. WINTER, J. J. REHR, L. G. M. PETERSSON and A. NILSSON**, “X-Ray and Electron Spectroscopy of Water,” *Chem. Rev.* **116**, 7551–7569 (2016).
- T. BRANDENBURG, R. GOLNAK, M. NAGASAKA, K. ATAK, S. S. N. LALITHAMBIKA, N. KOSUGI and E. F. AZIZ**, “Impacts of Conformational Geometries in Fluorinated Alkanes,” *Sci. Rep.* **6**, 31382 (7 pages) (2016).
- M. W. LIN, K. C. WANG, J. H. WANG, M. H. LI, Y. L. LAI, T. OHIGASHI, N. KOSUGI, P. CHEN, D. H. WEI, T. F. GUO and Y. J. HSU**, “Improve Hole Collection by Interfacial Chemical Redox Reaction at a Mesoscopic NiO/CH₃NH₃PbI₃ Heterojunction for Efficient Photovoltaic Cells,” *Adv. Mater. Interfaces* **3**, 1600135 (12 pages) (2016).
- H. YAMANE and N. KOSUGI**, “Site-Specific Organic/Metal Interaction Revealed from Shockley-Type Interface State,” *J. Phys. Chem. C* **120**, 24307–24313 (2016).
- K. YAMAMOTO, A. KLOSSEK, R. FLESCH, T. OHIGASHI, E. FLEIGE, F. RANCAN, J. FROMBACH, A. VOGT, U. BLUME-PEYTAVI, P. SCHRADER, S. BACHMANN, R. HAAG, S. HEDTRICH, M. SCHÄFER-KORTING, N. KOSUGI and E. RÜHL**, “Core-Multishell Nanocarriers: Transport and Release of Dexamethasone Probed by Soft X-Ray Spectromicroscopy,” *J. Controlled Release* **242**, 64–70 (2016).

B-3) 総説, 著書

長坂将成, 小杉信博, 「軟X線透過吸収法: 分子間相互作用解析のための化学シフトと測定技術」, *J. Vac. Soc. Jpn.* **59(11)**, 301–306 (2016).

大東琢治, 小杉信博, 「UVSOR-III の走査型透過X線顕微鏡における化学状態分析法の開発」, *放射光学会誌* **19(6)**, 287–293 (2016).

B-4) 招待講演

小杉信博, 「分子の内殻励起に関する先導的実験及び理論 (第68回日本化学会賞受賞講演)」, 日本化学会春季年会, 京田辺, 2016年3月.

N. KOSUGI, “Chemical Shifts in Inner-shell Excitations arising from Molecular Interactions,” International Conference on The Future of X-Ray and Electron Spectroscopies (XRAY-2016), Uppsala (Sweden), June 2016.

N. KOSUGI, “Optimal Energy and Spatial Resolutions for in situ/operando Soft X-Ray Absorption Spectroscopy,” 2nd International Workshop on Soft X-Ray Science Opportunities using Diffraction-limited Storage Rings, organized by NSRL and ALS, Hefei (China), August 2016.

H. YAMANE, “Valence-Band Dispersion in Organic Thin Films and Interfaces,” Okazaki Conference “Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications (ASOMEA),” Okazaki, November 2016.

B-6) 受賞, 表彰

小杉信博, 第68回日本化学会賞 (2016).

初井宇記, 日本放射光学会奨励賞 (2006).

山根宏之, 日本放射光学会奨励賞 (2009).

長坂将成, 日本放射光学会奨励賞 (2013).

山根宏之, 分子科学会奨励賞 (2014).

小杉信博, 分子科学研究奨励森野基金研究助成 (1987).

長坂将成, 分子科学研究奨励森野基金研究助成 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本放射光学会評議員 (1994–1995, 1998–1999, 2002–2003, 2006–2007, 2009–2010, 2012–2013, 2015–2017), 庶務幹事 (1994), 特別委員会委員 (将来計画 2001–2003, 先端的リング型光源計画 2005–2006, 放射光光源計画 2009–2011).

日本化学会化学技術賞等選考委員会委員 (2001–2002), 学術賞・進歩賞選考委員会委員 (2014–2015), 学会賞選考委員会委員 (2016).

学会の組織委員等

SRI シンクロトン放射装置技術国際会議国際諮問委員 (1994–2009, 2014–).

VUV 真空紫外光物理国際会議国際諮問委員 (2004–2008).

X線物理及び内殻過程の国際会議国際諮問委員 (2006–2008).

VUVX 真空紫外光物理及びX線物理国際会議国際諮問委員 (2008–2013).

ICESSE 電子分光及び電子構造国際会議国際諮問会議委員 (2006–), 副議長 (2015–).

VUV-12, VUV-14 真空紫外光物理国際会議プログラム委員 (1998, 2004).

ICESSE-11 電子分光及び電子構造国際会議共同議長, 国際プログラム委員長 (2009).

ICESSE-8,9,10,12 電子分光及び電子構造国際会議国際プログラム委員 (2000, 2003, 2006, 2012).

IWP 光イオン化国際ワークショップ国際諮問委員・プログラム委員 (1997, 2000, 2002, 2005, 2008, 2011).

DyNano2010 短波長放射光によるナノ構造及びダイナミクス国際ワークショップ諮問委員 (2010, 2011).

SXET 軟X線周波数領域及び時間領域に関する国際ワークショップ共同議長 (2015).

台湾軟X線散乱国際ワークショップ組織委員 (2009).

COREDEC 内殻励起における脱励起過程国際会議プログラム委員 (2001).

ICORS2006 第20回国際ラマン分光学会議プログラム委員 (2006).

IWSXR 軟X線ラマン分光及び関連現象に関する国際ワークショップ組織委員長 (2006).

XAFS X線吸収微細構造国際会議実行委員 (1992), 組織委員 (2000), プログラム委員 (1992, 2000), 国際諮問委員 (2003).

ICFA-24 次世代光源に関する先導的ビームダイナミクス国際ワークショップ組織委員 (2002).

日仏自由電子レーザーワークショップ副議長 (2002).

日独セミナー Present State and Perspectives of Accelerator-based Photon Sources 日本側代表 (2013).

ASOMEA-VIII 有機電子材料のための先端分光国際ワークショップ組織委員 (2016).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術・学術審議会専門委員 (研究計画・評価分科会) (2005–2007).

文部科学省科学技術・学術審議会先端研究基盤部会量子ビーム利用推進小委員会委員, 主査代理 (2016).

文部科学省放射光施設の連携・協力に関する連絡会議作業部会委員 (2007–2008).

文部科学省大学共同利用機関法人準備委員会自然科学研究機構検討委員 (2003–2004).

日本学術振興会国際科学協力事業委員会委員 (2002–2003), 科学研究費委員会専門委員 (2007–2008, 2012, 2016), 特別研究員等審査会専門委員 (2009–2010), 特別研究員等審査会審査員 (2014–2015), 国際事業委員会書面審査員 (2009–2010, 2014–2015).

科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) 領域アドバイザー (2008–2014).

大学共同利用機関法人自然科学研究機構教育研究評議員 (2004–2006, 2010–2016).

高エネルギー加速器研究機構運営協議委員会委員 (2001–2003), 物質構造科学研究所運営協議委員会委員 (2001–2003), 加速器・共通研究施設協議会委員 (2001–2003), 物質構造科学研究所運営会議委員 (2015–).

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設運営委員会委員 (1994–2012, 2014–).

日本学術会議放射光科学小委員会委員 (2003–2005).

学会誌編集委員

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Editorial Board member (2005–2006), Editor (2007–).

その他

アジア交流放射光国際フォーラム組織委員及び実行委員 (1994, 1995, 2001, 2004).

アジア・オセアニア放射光フォーラム AOFSSR 国際諮問委員及びプログラム委員 (2007, 2009).

極紫外・軟X線放射光源計画検討会議光源仕様レビュー委員会委員 (2001–2002).

SPring-8 評価委員会委員 (2002, 2003, 2004), 登録機関利用活動評価委員会委員 (2008), 専用施設審査委員会委員 (2007–2010), パートナーユーザー審査委員会 (2013–2014).

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験審査委員 (1997–2001), 放射光研究施設評価分科会委員 (2001–2002), 放射光戦略ワーキンググループ会議委員 (2007–2009), 放射光科学国際諮問委員会電子物性分科会委員 (2008), ERL 総括委員会委員長 (2016).

核融合科学研究所外部評価委員会共同研究・連携研究専門部会委員 (2010–2011).

東北放射光施設計画推進室委員 (2013–2014), 第三者委員会委員 (2015), 国際評価委員会委員 (2016).

九州シンクロtron光研究センタービームライン評価委員会委員 (2016).

台湾放射光科学国際諮問委員会委員 (2008–2011).

台湾国立シンクロtron放射研究センター人事委員 (2015–2016).

台湾中央研究院研究計画審査委員 (2010–2012).

フィンランドOulu 大学物理学教授選考外部専門委員 (2010).

フランスCNRS ANR 基盤研究審査員 (2010–2012).

フランスUPMC(Paris 6)/CNRS Multi-scale Integrative Chemistry (MiChem) プロジェクト外部審査委員 (2011, 2014).

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B), 「軟X線内殻分光による分子間相互作用系の局所電子構造研究」, 小杉信博 (2008年–2010年).

科研費基盤研究(A), 「軟X線分光による液体・溶液の局所電子構造解析法の確立」, 小杉信博 (2011年–2013年).

科研費基盤研究(A), 「軟X線内殻励起によるその場観測顕微分光法の確立と応用」, 小杉信博 (2014年–2016年).

科研費若手研究(B), 「表面共吸着系の電子状態の同時観測法の開発と電極反応への展開」, 長坂将成 (2009年–2010年).

科研費若手研究(A), 「軟X線吸収分光法による電極固液界面の局所電子構造の解明」, 長坂将成 (2011年–2013年).

科研費基盤研究(C), 「マイクロ流路を用いた溶液反応の時間分解軟X線分光法の開発」, 長坂将成 (2016年–2018年).

科研費若手研究(B), 「内殻励起を利用した有機半導体薄膜・界面の局所電子状態と電荷輸送ダイナミクスの研究」, 山根宏之 (2009年–2010年).

科研費若手研究(A), 「分子間バンド分散の精密観測による有機半導体の電気伝導特性の定量的解明」, 山根宏之 (2012年–2014年).

科研費挑戦的萌芽研究, 「動作環境における有機デバイス電子状態の「その場」観測」, 山根宏之 (2012年–2013年).

科研費若手研究(B), 「軟X線吸収分光法によるクロスカップリング反応中間体の直接検出」, 湯澤勇人 (2014年–2015年).

科研費特別研究員奨励費, 「軟X線吸収分光による固液界面構造の局所電子状態解析法の開発」, 湯澤勇人 (2014年–2016年).

C) 研究活動の課題と展望

本研究グループは、光吸収分光と光電子分光に重点を置いて、軟X線放射光の分子科学応用を展開している。UVSOR-I からUVSOR-II に高度化されたことで、吸収エネルギーや光電子エネルギーのmeV オーダーシフトが観測できるようになり、孤立分子や固体を対象とした研究から、クラスター、液体・溶液、有機薄膜などの弱い分子間相互作用系の局所構造解析を可能とした。さらに、UVSOR-II からUVSOR-III に高度化されたことで、輝度がさらに向上するとともに空間分解能が向上したので、これまでの均一系を対象とした基礎化学から不均一系の化学やバイオ系も対象として、現在、精力的にその場観測・オペランド観測や顕微分光を展開している。また、緩やかな時間変化の追跡を組み合わせた実験も開始している。さらに、内殻励起の化学シフトを高いエネルギー分解能と空間分解能で観測することによって初めて実現可能になる化学状態マッピングの手法開発に取り組んでいる。これらは放射光分子科学分野において国際的な競争力があり、海外の他施設でも不可能なものも多く、欧米の最先端軟X線高輝度光源施設と連携をとりながら相補的な国際共同に貢献している。今後も引き続き国際的な視野に立った特徴ある研究を国際連携しながらUVSOR-III 施設で進めていく。

解 良 聡 (教授) (2014 年 4 月 1 日着任)

A-1) 専門領域：表面物理学，有機薄膜物性

A-2) 研究課題：

- a) シンクロトロン放射光・レーザー光励起による弱相互作用系の電子状態計測
- b) 有機半導体薄膜の電荷輸送機構の研究
- c) 有機半導体薄膜の界面電子準位接合機構の研究
- d) 機能性分子薄膜の光電子放出強度の理論解析と分子軌道撮影法の開発
- e) 機能性分子薄膜の振動状態と電子励起計測
- f) 自己組織化と分子認識機能の分光研究
- g) 分子薄膜の作製と評価：成長ダイナミクス，構造と分子配向

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 機能性分子薄膜の弱相互作用による電子状態変化を計測する技術開発を進めている。弱相互作用を定量的に評価するため，蒸気圧の低い大型分子対応の気相光電子分光実験装置を開発し，分子集合による電子状態の違いに関する議論を進めている。2014年度より新たに超短パルスレーザー光を励起源として電子状態を測定し，ホール緩和や励起子拡散など，電荷ダイナミクス関連の研究を開始した。
- b) 有機半導体のバンド分散関係：良質な配向有機結晶膜を作製し，価電子エネルギーバンド分散を測定し，分子間相互作用の大きさ，ホールの有効質量など，バンド伝導移動度を評価した。更に幾多の実験的困難の克服により，有機単結晶試料に対して行う技術を確立し，世界で初めて分散関係の検出に成功した。またパルス光源を用いた飛行時間型高分解能角度分解測定により，有機単結晶の二次元バンド分散関係の完全決定実験を進めている。
有機半導体の電荷振動結合：配向有機超薄膜の作製により，大型の分子薄膜系における光電子スペクトルの高エネルギー分解測定を実現する方法論を開拓して，分子薄膜における伝導ホールと分子振動の結合状態を初めて実測し，ホッピング移動度（そのポーラロン効果を含む）を分光学的に得る方法を開拓した。これらの物理量を実測することで，輸送機構の解明を目指している。
- c) 本質的には絶縁物である有機分子が n 型 / p 型半導体として機能する起源を明らかにすべく研究を進めている。極めて高感度に光電子を捕捉し，評価可能な光電子分光装置を開発し，価電子バンドの 10 万分の 1 程度以下の微小バンドギャップ状態密度の検出に成功した。価電子帯トップバンドの状態密度分布がガウス型から指数関数型に変化し，基板フェルミ準位まで到達している様子をとらえた。ドナー・アクセプター半導体分子間の弱い vdW 結合から，分子と金属原子の局所的な強い化学結合によるギャップ準位形成までを統括検討し，エネルギー準位接合機構の解明を目指している。
- d) 高配向有機薄膜からの光電子放出強度の角度依存性について，多重散乱理論による強度解析を行い，分子薄膜構造の定量的解析を行うための方法論を検討している。多様な有機薄膜の分子配向に依存した電子波のポテンシャル散乱と干渉問題を評価してきた。また理論計算から，二次元角度分解測定により分子軌道の可視化が行え，配向分子系（固体）における分子計測の新たなツールとなりうることを提案した。放射光を利用した実験とともに，局在電子系における一電子近似の限界を検討し，弱相互作用系の物理を議論している。

- e) 低速電子エネルギー損失分光により、機能性分子薄膜の振動状態と電子励起状態を測定し、弱相互作用による振動構造への影響を調べている。
- f) 表面場で織り成すパイ共役分子系の超格子構造や、分子薄膜の自己組織化機構の解明を目指している。また超分子系の固相膜を作製し、自己組織化や原子・分子捕獲などによる電子状態への影響を測定することで、分子認識機能について分光学的に研究している。
- g) 有機分子薄膜(高分子薄膜)の電子状態を議論する上で、試料調整方法の確立が鍵である。光電子放射顕微鏡 (PEEM)、走査プローブ顕微鏡 (STM)、高分解能低速電子線回折 (SPALED), 準安定励起原子電子分光 (MAES), X線定在波法 (XSW), 軟X線吸収分光 (NEXAFS) 等を用い、基板界面における単分子膜成長から結晶膜成長までの多様な集合状態について構造 (分子配向) と成長を観察した。

B-1) 学術論文

T. HOSOKAI, A. HINDERHOFER, F. BUSSOLOTTI, K. YONEZAWA, C. LORCH, T. WATANABE, A. VOROBIEV, Y. HASEGAWA, Y. YAMADA, Y. KUBOZONO, A. GERLACH, S. KERA, F. SCHRIBER and N. UENO, “Thickness and Substrate Dependent Thin Films Growth of Picene and Impact to the Electronic Structure,” *J. Phys. Chem. C* **119**, 29027–29037 (2015).

Y. NAKAYAMA, Y. URAGAMI, M. YAMAMOTO, K. YONEZAWA, K. MASE, S. KERA, H. ISHII and N. UENO, “High-Resolution Core-Level Photoemission Measurements on the Pentacene Single Crystal Surface Assisted by Photo-conduction,” *J. Phys.: Condens. Matter* **28**, 094001 (8 pages) (2016).

J.-P. YANG, W.-Q. WANG, L.-W. CHENG, Y.-Q. LI, J.-X. TANG, S. KERA, N. UENO and X.-H. ZENG, “Mechanism for Doping Induced p Type C₆₀ Using Thermally Evaporated Molybdenum Trioxide (MoO₃) as a Dopant,” *J. Phys.: Condens. Matter* **28**, 185502 (6 pages) (2016).

T. KIRCHHUEBEL, M. GRUENEWALD, F. SOJKA, S. KERA, F. BUSSOLOTTI, T. UEBA, N. UENO, G. ROUILLE, R. FORKER and T. FRITZ, “Self-Assembly of Tetraphenyldibenzoperiflanthene (DBP) Films on Ag(111) in the Monolayer Regime,” *Langmuir* **32**, 1981–1987 (2016).

K. YONEZAWA, Y. SUDA, S. YANAGISAWA, T. HOSOKAI, K. KATO, T. YAMAGUCHI, H. YOSHIDA, N. UENO and S. KERA, “Charge Transfer States Appear in the π -Conjugated Pure Hydrocarbon Molecule on Cu(111),” *Appl. Phys. Express* **9**, 045201 (4 pages) (2016).

T. SCHULTZ, R. SCHLESINGER, J. NIEDERHAUSEN, F. HENNEBERGER, S. SADOFEV, S. BLUMSTENGEL, A. VOLLMER, F. BUSSOLOTTI, J.-P. YANG, S. KERA, K. PARVEZ, N. UENO, K. MÜLLEN and N. KOCH, “Tuning the Work Function of GaN with Organic Molecular Acceptors,” *Phys. Rev. B* **93**, 125309 (5 pages) (2016).

Y. HE, F. BUSSOLOTTI, Q. XIN, J. P. YANG, S. KERA, N. UENO and S. DUHM, “Transient Monolayer Structure of Rubrene on Graphite: Impact on Hole-Phonon Coupling,” *J. Phys. Chem. C* **120**, 14568–14574 (2016).

C. LI, J. WEI, M. SATO, H. KOIKE, Z.-Z. XIE, Y.-Q. LI, K. KANAI, S. KERA, N. UENO and J. X. TANG, “Halide-Substituted Electronic Properties of Organometal Halide Perovskite Films: Direct and Inverse Photoemission Studies,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* **8**, 11526–11531 (2016).

J. P. YANG, W. Q. WANG, F. BUSSOLOTTI, L. W. CHENG, Y. Q. LI, S. KERA, J. X. TANG, X. H. ZENG and N. UENO, “Quantitative Fermi Level Tuning in Amorphous Organic Semiconductor by Molecular Doping: Toward Full Understanding of the Doping Mechanism,” *Appl. Phys. Lett.* **109**, 093302 (4 pages) (2016).

T. UEBA, J. PARK, R. TERAOKI, Y. WATANABE, T. YAMADA and T. MUNAKATA, “Unoccupied Electronic Structure and Molecular Orientation of Rubrene; from Evaporated Films to Single Crystals,” *Surf. Sci.* **649**, 7–13 (2016).

T. UEBA, T. YAMADA and T. MUNAKATA, “Electronic Excitation and Relaxation Dynamics of the LUMO-Derived Level in Rubrene Thin Films on Graphite,” *J. Chem. Phys.* **145**, 214703 (9 pages) (2016).

B-4) 招待講演

S. KERA, “A perspective of quasiparticle state in organic crystals,” The 18th International conference on solid states and surfaces (ICSFS18), Chemnitz (Germany), August 2016.

S. KERA, “Deep insight into electronic states of functional molecular materials,” The International Conference on Electronic Materials (ICMRS-ICEM2016), Singapore, July 2016.

S. KERA, “Mass, momentum, and energy of an electron of rubrene single crystal,” The 4th Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Soochow (China), December 2016.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

UVSOR 利用者懇談会世話人 (2012–2014).

VUVX (International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-Ray Physics) 真空紫外光物理およびX線物理国際会議国際諮問委員 (2014–).

学会の組織委員等

第30回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2016).

第77回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2016).

第63回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2016).

The 4th Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-Chair (Soochow, China 2016).

学協会連携分子研研究会「表面科学の最先端技術と分子科学(第7回真空・表面科学若手研究会)」運営委員 (2016).

第76回岡崎コンファレンス “Workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications” 主催者 (2016).

MPI-PKS 国際重点研究会 “Prospects and Limitations of Electronic Structure Imaging by Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy,” Co-Chair (Dresden, Germany 2016).

JSPS-NSFC joint 3rd Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Chair (IMS, Okazaki 2015).

第29回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2015).

第76回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2015).

第62回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2015).

第28回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム組織委員 (2014).

JSPS-NSFC joint 2nd Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-chair (Soochow Univ., China 2014).

第75回応用物理学会秋季学術講演会プログラム編成委員 (2014).

第61回応用物理学会春季学術講演会プログラム編成委員 (2013).

第27回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2013).

JSPS-NSFC joint 1st Workshop on Physics in Organic Optoelectronics, Co-chair (Tokyo Univ. of Sci., Japan 2013).

UVSOR 研究会「UVSOR 有機固体専用ラインの今後の展開」主催者 (2012).

The 4th Workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications (ASOMEA4), Local Committee (Chiba, Japan 2007).

21世紀COE プログラム若手主導研究会主催者 (2006).

Workshop on Electrical and Electronic Properties in Crystalline Thin Films of Small-Molecules, Co-chair (Chiba, Japan 2005).

UVSOR 研究会「有機薄膜の放射光利用研究：BL8B2 の歩みと今後の展開」主催者 (2007).

学会誌編集委員

真空誌編集委員 (2008–2009).

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Guest Editor (2014).

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Editorial Board (2015–).

その他

千葉大学工学部工学同窓会部会幹事 (2008–2013).

B-8) 大学での講義, 客員

千葉大学大学院融合科学研究科, 連携客員教授, 2014年9月–.

千葉大学大学院融合科学研究科, 「ナノ創造物性工学特論II」, 2014年9月–.

蘇州大学, 客員教授, 2014年4月–.

B-10) 競争的資金

科研費若手研究(A), 「巨大分子吸着系における価電子帯ホール・振動結合：有機電荷輸送機構の解明」, 解良 聡 (2005年–2007年).

科研費挑戦的萌芽研究, 「有機デバイス材料の個性を知る：移動度の直接評価」, 解良 聡 (2008年–2009年).

科研費若手研究(A), 「分子性固体における電荷輸送とその動的現象の解明」, 解良 聡 (2008年–2010年).

科研費基盤研究(B), 「パイ共役分子による低次元超格子ヘテロ界面構造とその電子状態」, 解良 聡 (2011年–2013年).

日本學術振興会二国間交流事業共同研究費 (NSFC), 「有機タンデム光電子デバイスの有機半導体の本性を活用した高性能化」, 解良 聡 (2013年–2015年).

科研費基盤研究(A), 「精密電子状態評価による有機半導体界面に特徴的な電子機能の解明」, 解良 聡 (2014年–2016年).

C) 研究活動の課題と展望

これまで積み重ねてきた大型の機能性分子の高配向薄膜試料を作製するノウハウを活用し, その電子状態を高分解能 (高感度) 光電子分光法により測定することで, 分子材料中の「電子の真の姿を見出すこと」を主眼として進めている。高感度紫外光電子分光装置, 気相光電子分光装置, 逆光電子分光装置, スポット分析型低速電子線回折装置の立ち上げを完了し,

実験データの取得を開始している。立ち上げ中のラボ装置としては新規に導入した超短パルスレーザー光源を用いたシステムが残るが、二光子光電子分光および時間分解光電子分光測定への実験展開を急ぎたい。UVSOR 施設においては、外部ユーザーとしてビームタイムの申請に努め、有機固体の未踏の電子状態測定を実現すべく、アドバンス光電子分光実験を推進している。X線定在波分光や飛行時間型角度分解光電子分光などの国内で実施不可能な先端分析実験は、引き続き海外放射光施設(Diamond (英), BESSY (独), ELETTRA (伊))の利用申請により共同利用実験を進める。UVSOR 施設利用実験の新規展開として、高運動量分解・高エネルギー分解光電子顕微鏡を用いた有機固体系の新奇実験装置開発について検討を開始した。実験データの理論解析を進めるために、国内外の理論グループとの連携を深める予定である。

光源加速器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

加藤 政 博（教授）（2000年3月1日着任，2004年1月1日昇任）

A-1) 専門領域：加速器科学，放射光科学，ビーム物理学

A-2) 研究課題：

- a) シンクロトロン光源加速器の研究
- b) 自由電子レーザーの研究
- c) 相対論的電子ビームを用いた光発生法の研究
- d) 量子ビームの発生と応用に関する研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) シンクロトロン光源 UVSOR の性能向上に向けた開発研究を継続している。2000年以降の断続的な加速器改良により，電子ビーム強度及び輝度の大幅な向上，電子ビーム強度を一定に保つトップアップ入射の導入などに成功し，低エネルギー放射光源としては世界最高水準の光源性能を実現した。高輝度放射光発生のために真空封止アンジュレータ3台，可変偏光型アンジュレータ3台を設計・建設し，稼働させた。
- b) 自由電子レーザーに関する研究を継続している。蓄積リング自由電子レーザーとして世界最高の出力を記録した。また，共振器型自由電子レーザーに関する基礎研究を進め，レーザー発振のダイナミクスやフィードバック制御に関する先駆的な成果を上げた。次世代の放射光源である回折限界リングや高繰り返し極紫外自由電子レーザーに関する基礎研究を進めた。
- c) 外部レーザーを用いて電子パルス上に微細な密度構造を形成することでコヒーレント放射光を極紫外領域やテラヘルツ領域において生成する研究を継続している。この手法により一様磁場中から準単色テラヘルツ放射光を発生することに世界に先駆けて成功した。電子パルス上に形成された密度構造の時間発展に関するビームダイナミクス研究により先駆的な成果を上げた。
- d) 外部レーザーと高エネルギー電子線を用いた逆コンプトン散乱によるエネルギー可変，偏光可変の極短ガンマ線パルス発生に関する研究を進めている。パルス幅数ピコ秒程度のガンマ線パルスの生成，エネルギー可変性の実証に成功した。光陰極を用いた電子源の開発を進めている。また，これら偏極量子ビームの応用研究の開拓を進めている。
- e) 高エネルギー電子ビームによる光渦の生成に成功し，その原理の解明に世界に先駆けて成功した。自然界での光渦の生成の可能性について，研究を進めると共に，深紫外・真空紫外領域での光渦の利用法の開拓を進めている。

B-1) 学術論文

H. ZEN, Y. TAIRA, T. KONOMI, T. HAYAKAWA, T. SHIZUMA, J. YAMAZAKI, T. KII, H. TOYOKAWA, M. KATOH and H. OHGAKI, "Generation of High Energy Gamma-Ray by Laser Compton Scattering of 1.94- μm Fiber Laser in UVSOR-III Electron Storage Ring," *Energy Procedia* **89**, 335–345 (2016).

E. TSUDA, Y. MITSUMOTO, K. TAKAKURA, N. SUNAGA, T. AKITSU, T. KONOMI and M. KATOH, "Electrochemical Tuning by Polarized UV Light Induced Molecular Orientation of Chiral Salen-Type Mn(II) and Co(II) Complexes in an Albumin Matrix," *J. Chem. Chem. Eng.* **2**, 53–59 (2016).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

N. YAMAMOTO, X. G. JIN, K. YAMAGUCHI, M. HOSAKA, Y. TAKASHIMA and M. KATOH, “Time Response Measurements for Transmission-Type GaAs/GaAsP Superlattice Photocathodes,” *Proc. 7th Internat. Particle Accel. Conf. (Busan, 2016)*, 2641 (2016).

M. HOSAKA, K. MIYAMOTO, S. SASAKI, K. KURODA, T. KONOMI, N. YAMAMOTO, N. S. MIRIAN and M. KATOH, “Experimental Study on Optical Vortex from A Helical Undulator at UVSOR-III,” *Proc. 7th Internat. Particle Accel. Conf. (Busan, 2016)*, 2036 (2016).

H. OHGAKI, T. KII, H. ZEN, I. DAITO, H. TOYOKAWA, Y. TAIRA, T. HAYAKAWA, T. SHIZUMA, M. KATOH and J. YAMAZAKI, “Study On NRF-CT Imaging by Laser Compton Backscattering Gamma-Rays in UVSOR,” *Proc. 7th Internat. Particle Accel. Conf. (Busan, 2016)*, 2007 (2016).

B-6) 受賞, 表彰

島田美帆, 第8回日本加速器学会奨励賞 (2011).

平 義隆, 第7回日本物理学会若手奨励賞 (2012).

肥田洋平, 第9回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2012).

丹羽貴弘, 第9回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2012).

平 義隆, 第9回日本加速器学会年会賞(口頭発表部門) (2012).

梶浦陽平, 第10回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2013).

稲垣利樹, 第11回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2014).

伊藤圭也, 第12回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2015).

宮内智寛, 第12回日本加速器学会年会賞(ポスター部門) (2015).

加藤政博, 第20回超伝導科学技術賞(未踏科学技術協会) (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本加速器学会評議員 (2008–2009, 2013–).

日本放射光学会評議員 (2006–2009, 2010–2012, 2013–2015, 2016–).

学会の組織委員等

日本加速器学会組織委員 (2004–).

日本放射光学会第13回年会プログラム委員長 (2000).

日本加速器学会第10回年会プログラム委員長 (2013).

学会誌編集委員

日本放射光学会誌編集委員 (2000–2002).

B-8) 大学での講義, 客員

高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設, 客員教授 2015年–.

名古屋大学シンクロtron光研究センター, 客員教授, 2006年–.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B),「レーザーと電子ビームを用いたテラヘルツコヒーレント放射光の生成」,加藤政博(2005年-2007年).

科研費基盤研究(B),「電子ビームのレーザー微細加工によるコヒーレント光発生」,加藤政博(2008年-2010年).

文部科学省光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発プロジェクト 量子ビーム基盤技術開発プログラム,高度化ビーム技術開発課題,「リング型光源とレーザーを用いた光発生とその応用」,加藤政博(2008年-2012年).

科研費基盤研究(B),「超狭帯域真空紫外コヒーレント放射光源の開発」,加藤政博(2011年-2013年).

科研費基盤研究(B),「シンクロtron放射による真空紫外コヒーレント光渦ビームの発生」,加藤政博(2014年-2016年).

C) 研究活動の課題と展望

UVSOR は2000年以降の高度化により,既に低エネルギーのシンクロtron光源としては世界的にも最高レベルの性能に到達した。この光源性能を100%引き出すための安定性の向上に取り組んでいる。トップアップ運転時のビームの動きを最小限にするパルス六極磁石による入射効率の向上へ向けて研究を進めている。また,名古屋大学などと協力し,ビーム不安定性を抑制するための高調波空洞の開発を進める。

自由電子レーザーに関しては,共振器内逆コンプトン散乱による高効率単色ガンマ線生成などへの応用に向けた予備実験を進める。これらと並行して,レーザー発振のダイナミクスの基礎研究やシード光注入による発振の安定化や制御に関する研究を継続する。

極短パルスレーザーと蓄積リングの電子ビームを併用した,テラヘルツ領域でのコヒーレント放射の生成,真空紫外領域でのコヒーレント高調波発生の研究を進める。量子ビーム基盤技術開発プログラムのもと完成した新しい実験ステーションを用いて実用化に向けた技術開発を進める。特に光渦など従来の放射光にはない特異な性質を持つ光の基礎研究からその発生法の高度化,さらに利用法の開拓に取り組む。

新しい量子ビーム源として,レーザーと電子ビームの相互作用による極短パルスガンマ線の発生に関する研究を進める。偏光可変性や極短パルス特性を活かした利用法の開拓を行う。また,名古屋大学などと協力し,スピン偏極電子源の開発を進める。生体物質への照射や逆光電子分光などへの展開を図る。

光物性測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

田中清尚（准教授）（2014年4月1日着任）

A-1) 専門領域：物性物理学，放射光科学

A-2) 研究課題：

- a) 高温超伝導体の電子状態の解明
- b) 新規スピン分解角度分解光電子分光装置の開発
- c) 角度分解光電子分光における低温技術の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 銅酸化物高温超伝導体の中でも高い超伝導転移温度 (T_c) を示す物質の一つである Bi2223 の電子状態を，UVSOR BL7U において角度分解光電子分光測定を行うことで明らかにした。装置の改良により角度分解能を向上させたことで、これまで報告されていなかった新しいエネルギーバンドが存在することを世界に先駆けて観測した。理論計算との比較、さらにはモデル計算によるフィッティングを行うことで単位胞中に3つある CuO_2 面のうち外側の2枚中の電子が関与することによって引き起こされていることを明らかにした。今後このエネルギーバンドの詳細な温度変化を観測することで、高温超伝導との関連を調べる予定である。
- b) 固体の光電子分光ビームラインであった BL5U では、高性能化を目指してビームラインとエンドステーションの全面的な更新を行っている。ビームラインは2016年度より高分解能角ビームラインとしてユーザー利用を開始した。従来は検出できなかったスリットに垂直方向の電子を、電子レンズにより取り込むことで、広い運動量空間の電子状態を簡単に測定できる。現在はこれまでにない高効率イメージスピン検出器を開発中であり、スピン分解検出をする酸化鉄ターゲットまで電子を導くことに成功している。これらの機能をあわせることで3次元のスピン分解角度分解光電子分光測定が可能となると考えられる。
- c) 角度分解光電子分光実験の高エネルギー分解能測定には、試料をどれだけ冷却できるかが重要となる。BL5U 用に開発した冷却可能な5軸マニピュレータは試料部において4.6 K、参照用金部で4 K という低温を達成し、放射光施設の光電子分光装置としては世界でもトップクラスである。現在 UVSOR で最も高分解能な測定が可能である BL7U では、試料を12 K までしか冷却することができないため、その性能を十分生かすことができていない。そこで試料部において5 K を目指して新たに6軸マニピュレータの開発を進めている。現在試料位置で約7 K を達成したがさらなる低温化を目指して開発を進めている。2016年度中にビームラインへ導入する予定である。

B-1) 学術論文

J. OKABAYAH, S. MIYASAKA, K. HEMMI, K. TANAKA, S. TAJIMA, H. WADATI, A. TANAKA, Y. TAKAGI and T. YOKOYAMA, "Investigating Orbital Magnetic Moments in Spinel-Type MnV_2O_4 Using X-Ray Magnetic Circular Dichroism," *J. Phys. Soc. Jpn.* **84, 104703 (5 pages) (2015).**

M. NAKAYAMA, T. KONDO, Z. TIAN, J. J. ISHIKAWA, M. HALIM, C. BAREILLE, W. MALAEB, K. KURODA, T. TOMITA, S. IDETA, K. TANAKA, M. MATSUNAMI, S. KIMURA, N. INAMI, K. ONO, H. KUMIGASHIRA, L. BALENTS, S. NAKATSUJI and S. SHIN, “Slater to Mott Crossover in the Metal to Insulator Transition of $\text{Nd}_2\text{Ir}_2\text{O}_7$,” *Phys. Rev. Lett.* **117**, 056403 (6 pages) (2016).

K. HAGIWARA, Y. OHTSUBO, M. MATSUNAMI, S. IDETA, K. TANAKA, H. MIYAZAKI, J. E. RAULT, P. LE FEVRE, F. BERTRAN, A. TALEB-IBRAHIMI, R. YUKAWA, M. KOBAYASHI, K. HORIBA, H. KUMIGASHIRA, K. SUMIDA, T. OKUDA, F. IGA and S. KIMURA, “Surface Kondo Effect and Non-Trivial Metallic State of the Kondo Insulator YbB_{12} ,” *Nat. Commun.* **7**, 12690 (2016).

T. YOSHIDA, W. MALAEB, S. IDETA, D. H. LU, R. G. MOOR, Z.-X. SHEN, M. OKAWA, T. KISS, K. ISHIZAKA, S. SHIN, S. KOMIYA, Y. ANDO, H. EISAKI, S. UCHIDA and A. FUJIMORI, “Coexistence of a Pseudogap and a Superconducting Gap for the High- T_c Superconductor $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Studied by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy,” *Phys. Rev. B* **93**, 014513 (5 pages) (2016).

B-4) 招待講演

田中清尚, 「UVSORにおけるスピン分解角度分解光電子分光」, 界面スピン軌道結合の微視的解明と巨大垂直磁気異方性デバイスの創製第2回研究会, 京都工芸繊維大学, 京都, 2016年11月.

B-7) 学会および社会的活動

学会誌編集委員

日本放射光学会誌編集委員 (2014–2016).

日本放射光学会誌編集委員 (2016–). (出田真一郎)

B-10) 競争的資金

科研費若手研究 (スタートアップ), 「高温超伝導体の反射型テラヘルツ時間領域分光」, 田中清尚 (2008年–2009年).

科研費若手研究 (B), 「電荷・スピンストライブ秩序相を有する高温超伝導体の電子構造」, 田中清尚 (2012年–2014年).

グローバルCOEプログラム「物質の量子機能解明と未来型機能材料創出」萌芽的研究, 「鉄系超伝導体における低エネルギー電荷応答」, 田中清尚 (2012年).

自然科学研究機構新分野創成センターイメージングサイエンス研究分野プロジェクト, 「ディフレクターを用いた新しい高分解能運動量空間電子状態イメージング」, 田中清尚 (2015年).

科研費若手研究 (B), 「角度分解光電子分光及びフェムト秒時間分解電子線回折による高温超伝導起源の解明」, 出田真一郎 (2015年–2016年).

C) 研究活動の課題と展望

これまで整備・立ち上げを進めてきたUVSORのBL5Uの高分解能角度分解光電子分光ビームラインは2016年度より運用を開始した。今後は高分解能を利用した実験を行いつつ、スピン分解測定の開発を進めていきたい。

光化学測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

繁 政 英 治（准教授）（1999年5月1日着任）

A-1) 専門領域：原子分子分光，光化学反応動力学

A-2) 研究課題：

- a) 角度分解高分解能電子分光法による内殻励起原子分子の電子緩和過程
- b) 極紫外光渦による原子分子の光イオン化ダイナミクス
- c) 短波長強レーザー場中の原子分子過程
- d) 内殻励起分子に特有な光解離ダイナミクス

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) BL6Uは、40～400 eVの光エネルギー範囲において、分解能10000以上かつ光強度 10^{10} 光子数/秒以上の性能を有しており、低エネルギー領域における世界最先端ビームラインの一つである。2009年初秋以降、気体の高分解能電子分光を行うための実験装置の整備を進め、アンジュレータとビームライン分光器、及び電子エネルギー分析器を同時に制御できるようにした。これにより、電子スペクトルを光のエネルギーの関数として計測する、高分解能二次元電子分光実験が定常的に行えるようになった。アンジュレータの偏光方向に対して電子エネルギー分析器を回転させることにより、電子放出の偏光依存性に関する情報も取得可能である。原子や分子の内殻電子励起状態や多電子励起状態の電子構造とその崩壊過程を詳細に調べる実験研究を協力研究や国際共同研究として継続して行っている。
- b) 円偏光アンジュレータ放射の高次光は、光渦の性質を持ち合わせていることが知られている。螺旋波面の構造に応じて、光に軌道角運動量が付与されるので、原子分子との相互作用において、通常の電子遷移とは異なる選択則に従うものと考えられる。2014年度から、光渦光子によるイオン化に関する実験研究を開始した。極紫外域の光渦が利用可能なBL1Uに電子画像観測装置を設置し、ヘリウム原子からの光電子角度分布測定を行った。複数回のビームタイムにより、実験方法を確立すると共に、問題点の洗い出しにより、電子画像観測装置の性能安定性を向上させる改良を施し、信頼性の高いデータを取得することに成功した。現状の実験条件では、光イオン化における光渦の効果は極めて小さく、検出限界を下回っていることが明らかになった。
- c) 日本のX線自由電子レーザー（XFEL）、SACLA及びその試験加速器であるSCSSにおいて、X線や極端紫外領域の強レーザー光に曝された原子分子及びクラスターの挙動について、発光分光法に基づく実験研究を進めている。特に、FEL光により励起された原子が集団として振る舞う量子光学効果、超蛍光に関しては、計算機シミュレーションを援用することにより、競合する超蛍光が発展、抑制されるメカニズムを明らかにした。今年度から運用を開始したSACLAのBL1に、我々が開発した極紫外発光観測装置を持ち込みビームライン下流に放射される極紫外領域の発光の観測を試みた。その結果、パルス状の時間構造を有する極紫外発光の観測に成功した。現在、データ解析を進めている。
- d) 内殻励起分子の光解離ダイナミクスについて、我々が開発した電子・イオン同時計測装置を利用した実験を独自の研究及び協力研究として進めている。小さな分子に関しては、内殻イオン化後に高効率で生成されるオージェ最終状態としての二価分子イオンについて、準安定種の電子状態の同定や解離極限と電子状態との相関を決定することに

成功している。昨年度から、観測対象を混合分子クラスターに拡げるべく装置の開発研究を行っている。数百分子サイズの分子クラスターに標的分子をピックアップさせることにより、液相・固相と同様の周辺環境下における標的分子の内殻励起光解離過程の観測を行っている。予備的な実験として、 N_2 分子クラスター中に O_2 分子を混合し、 $O1s$ 電子を光イオン化したところ、 O_2^+ のみならず、 N_2^+ や N^+ 、更には NO^+ などが観測された。このことは、光吸収した O_2 から周辺の N_2 への電荷移行やエネルギー移行が起きていることを示唆している。更なるクラスター生成の高効率化を目指した装置開発を継続中である。

B-1) 学術論文

C. OHAE, J. R. HARRIES, H. IWAYAMA, K. KAWAGUCHI, S. KUMA, Y. MIYAMOTO, M. NAGASONO, K. NAKAJIMA, I. NAKANO, E. SHIGEMASA, N. SASAO, S. UETAKE, T. WAKABAYASHI, A. YOSHIMI, K. YOSHIMURA and M. YOSHIMURA, “Simultaneous Measurements of Superradiance at Multiple Wavelength from Helium Excited States: II. Analysis,” *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 034301 (10 pages) (2016).

O. TRAVNIKOVA, T. MARCHENKO, G. GOLDSZTEJN, K. JÄNKÄLÄ, N. SISOURAT, S. CARNIATO, R. GUILLEMIN, L. JOURNAL, D. CÉOLIN, R. PÜTTNER, H. IWAYAMA, E. SHIGEMASA, M. N. PIANCASTELLI and M. SIMON, “Hard-X-Ray-Induced Multistep Ultrafast Dissociation,” *Phys. Rev. Lett.* **116**, 213001 (5 pages) (2016).

H. IWAYAMA, T. KANEYASU, Y. HIKOSAKA and E. SHIGEMASA, “Stability and Dissociation Dynamics of N_2^{++} Ions Following Core Ionization Studied by an Auger-Electron-Photoion Coincidence Method,” *J. Chem. Phys.* **145**, 034305 (8 pages) (2016).

Y. HIKOSAKA, R. MASHIKO, Y. KONOSU, K. SOEJIMA and E. SHIGEMASA, “Electron Emission Relevant to Inner-Shell Photoionization of Condensed Water Studied by Multi-Electron Coincidence Spectroscopy,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **213**, 17–21 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本放射光学会渉外委員 (2005–2006).

日本放射光学会評議員 (2006–2008, 2010–2011, 2012–2014, 2015–).

日本放射光学会渉外幹事 (2007–2009).

学会の組織委員等

日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム組織委員 (1999–2001, 2009, 2012).

第13回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム実行副委員長 (1999).

第13回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (1999).

第19回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム実行委員 (2005).

SRI06 (シンクロトロン放射装置技術国際会議) プログラム委員 (2005).

第22回化学反応討論会実行委員 (2006).

第20回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2006).

第21回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2007).

第2回AOFSSR (放射光研究アジア-オセアニアフォーラム) プログラム委員 (2007).

第23回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2009).
第24回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2010).
第25回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2011).
第30回日本放射光学会年会放射光科学合同シンポジウムプログラム委員 (2016).
第33回化学反応討論会実行委員 (2016).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (2014–2015).

東京大学物性研究所共同利用施設専門委員 (2005–2006).

(財)高輝度光科学研究センター利用研究課題選定委員会選定委員 (2007–2009, 2013–2015).

(財)高輝度光科学研究センター利用研究課題選定委員会分科会委員 (2011–2012).

学会誌編集委員

Proceedings of 11th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure, Special Issue of Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Elsevier, Guest Editor (2010).

Synchrotron Radiation News, Correspondent (2001–).

日本放射光学会学会誌編集委員 (2005–2006).

日本放射光学会学会誌編集委員 (2010–2012). (岩山洋士)

その他

公益財団法人高輝度光科学研究センター・SACLA 利用研究課題審査委員 (2016–2017).

B-8) 大学での講義, 客員

新潟大学大学院自然環境科学科, 自然環境科学集中講義「原子分子物理学II」, 2016年9月5日–7日, 11月28日–30日.

名古屋大学小型シンクロトン光研究センター, 客員准教授, 2007年9月–.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B), 「多重同時計測法で探る内殻励起分子の超高速緩和ダイナミクス」, 繁政英治 (2007年–2008年).

科研費基盤研究(B), 「短波長自由電子レーザーによる軟X線超蛍光の観測」, 繁政英治 (2014年–2016年).

松尾学術研究助成, 「極端紫外レーザー光によるクラスター発光分光分析」, 岩山洋士 (2010年).

科研費若手研究(B), 「自由電子レーザー励起によるレーザープラズマ光源の研究開発」, 岩山洋士 (2012年–2013年).

科研費若手研究(B), 「高温ガスセルを用いた振動励起した分子の光電子分光法の開発」, 岩山洋士 (2016年–2018年).

C) 研究活動の課題と展望

我々の専用ビームライン, BL6U での研究については, 二次元電子分光を含む高分解能電子分光法及び電子・イオン同時計測分光法を駆使した研究を推進して行く。観測対象としては, 従来通り, 周期律表の第2周期元素及び第3周期元素を含む分子の 1s 及び 2p 内殻励起領域を中心とするが, 混合分子クラスターに関する研究を新たに展開するためのクラスター装置の開発研究も継続する。内殻正孔状態の脱励起過程に特徴的な高励起一価分子イオンや二価分子イオンの解離過程や安定性について詳細に調べる。これらにより, 電子緩和過程と解離の競合や, 解離過程における結合組み換え反応など, 内殻励起分子に特有な光解離ダイナミクスや二価分子イオンの安定性に対する電子状態の果たす役割について理解を深め

たい。一方、BLIUにおける極紫外域の光渦を利用した電子分光実験については、今年度整備された分光ビームラインにおいて、分光された光渦光子による実験を行う。また、短波長FELの出現によって可能となった、EUVからX線領域における強レーザー場中の原子分子、及びクラスターの挙動に関する研究については、発光分光法による実験研究を継続する。特に、最近のSACLAでの実験で観測された、超蛍光である可能性が高いEUV領域における発光現象について、蛍光強度の試料濃度依存性を高分解能で時分割測定することにより、世界初となるEUV領域での超蛍光観測の確証を得たい。

先端レーザー開発研究部門（分子制御レーザー開発研究センター）

平等拓範（准教授）（1998年2月1日着任）

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス，光エレクトロニクス，レーザー物理，非線形光学

A-2) 研究課題：

- a) マイクロドメイン構造制御に関する研究
- b) マイクロドメイン光制御に関する研究
- c) マイクロ固体フォトニクスの展開

A-3) 研究活動の概略と主な成果

分子科学に関連して重要な波長域にレーザーの高輝度光を展開する為の固体レーザー，非線形波長変換法につき包括的な研究を進めている。特に近年のマイクロ固体フォトニクス [マイクロチップ Nd:YVO₄ レーザー（1990年），Yb:YAG レーザー（1993年），セラミックレーザー（1997年），バルク擬位相整合（QPM）素子：大口径周期分極反転 MgO:LiNbO₃（PPMgLN）（3mm 厚 2003年，5mm 厚 2005年，10mm 厚 2012年）] を先導すると共に，共同研究を通し赤外域分子分光などにその展開を図っている。国際誌の雑誌編集，特集号企画から国際シンポジウム・会議の企画提案，開催に積極的に参加する事でその成果を内外に発信している。

- a) マイクロドメイン構造，界面（粒界面，結晶界面，さらには自発分極界面）を微細に制御する固相反応制御法の研究として，レーザーセラミックス，レーザー素子，分極反転素子の作製プロセスの高度化を図っている。特に，固体レーザーの発光中心である希土類イオンの軌道角運動量を利用したマイクロドメインの配向制御は，これまで不可能だった異方性セラミックスによるレーザー発振を成功させただけでなく原理的にはイオンレベルでの複合構造を可能とする。さらに最近，表面活性接合による異種材料接合に成功し，Distributed Face Cooling（DFC）構造による Tiny Integrated Laser（TILA）なる次世代の高性能な高集積小型レーザーに関するコンセプトが検証された。これより，新たなフォトニクスを創出できるものと期待している。
- b) 光の発生，増幅，変換の高度制御を可能とする為の研究として，希土類イオンの発光・緩和機構の解明，固体中の光，エネルギー伝搬，さらにはマイクロドメイン構造と光子及び音子の相互作用機構解明，非線形光学過程の解明，モデル化を進めている。Yb レーザーの機構解明，Nd レーザーの直接励起可能性，希土類レーザーの励起光飽和特性，YVO₄ の高熱伝導率特性の発見，実証に繋がったばかりでなく，マイクロ共振器の高輝度効果，レーザー利得と非線形光学過程の量子相関などの興味深い展開も見せている。特にレーザー科学発展の中で生じたパルスギャップ領域であるサブナノ秒からピコ秒の便利な光源開拓に関する貢献，パルスギャップレーザーによる新現象の解明などが期待できる。
- c) 開発した光素子を用いた新規レーザー，波長変換システムの開発と展開を図っている。これまでもエッジ励起セラミック Yb:YAG マイクロチップレーザーによる高平均出力動作，手のひらサイズジャイアントパルスマイクロチップレーザーからの高輝度温度光発生，マイクロチップレーザーからの UV 光（波長：266 nm）からテラヘルツ波（波長：100 ~ 300 μm），さらには高効率・高出力のナノ秒光パラメトリック発生（出力エネルギー約 1 J，効率約 80%），波長 5~12 mm に至る広帯域波長可変中赤外光発生，1.5 サイクル中赤外光からのコヒーレント軟 X 線（波長：~5 nm）・アト秒（200 ~ 300 as）発生などをマイクロ固体フォトニクスで実証した。特にマイクロチップレーザーでは，パルス

ギャップであるサブナノ秒での高輝度光発生が望め、光イオン化過程に有利なため極めて低いエネルギーで効率的なエンジン点火が可能となる。すでに世界ではじめての自動車エンジン搭載、走行実験にも成功している。また、この高輝度光は光パラメトリック過程によるテラヘルツ波発生にも有利で、自由電子レーザーを凌駕する尖頭値で 50 kW に至る高出力化を実証できた。今後、分子の振動状態についてのより詳細な分光学的情報を得ることが出来ると期待される。

B-1) 学術論文

H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “High-Gain Mid-Infrared Optical-Parametric Generation Pumped by Microchip Laser,” *Opt. Express* **24**, 1046–1052 (2016).

A. KAUSAS and T. TAIRA, “Giant-Pulse Nd:YVO₄ Microchip Laser with MW-Level Peak Power by Emission Cross-Sectional Control,” *Opt. Express* **24**, 3137–3149 (2016).

常包正樹, 平等拓範, 「自動車エンジン点火用の超小型固体レーザー」, *光学* **45**, 111–113 (2016).

M. TSUNEKANE and T. TAIRA, “Direct Measurement of Temporal Transmission Distribution of a Saturable Absorber in a Passively Q-Switched Laser,” *IEEE J. Quantum Electron.* **52**, 5200107 (7 pages) (2016).

T. GOTO, R. MORIMOTO, J. W. PRITCHARD, M. MINA, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, P. B. LIM, T. TAIRA and M. INOUE, “Magneto-Optical Q-Switching Using Magnetic Garnet Film with Micromagnetic Domains,” *Opt. Express* **24**, 17635–17643 (2016).

R. MORIMOTO, T. GOTO, J. PRITCHARD, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, P. B. LIM, H. UCHIDA, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE, “Magnetic Domains Driving a Q-Switched Laser,” *Sci. Rep.* **6**, 38679 (7 pages) (2016).

L. ZHENG, A. KAUSAS and T. TAIRA, “>MW Peak Power at 266 nm, Low Jitter kHz Repetition Rate from Intense Pumped Microlaser,” *Opt. Express* **24**, 28748–28760 (2016).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

L. ZHENG and T. TAIRA, “Sub-Nanosecond Passively Q-Switched Monolithic Green Laser,” *LASE 2016, SPIE Photonics West*, 9730-46 (2016).

V. YAHIA and T. TAIRA, “Toward GW-Class High-Brightness Microchip Laser System,” *10th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF'16)*, 1PDb-07 (2016).

K. NAWATA, S. HAYASHI, H. ISHIZUKI, K. MURATE, K. IMAYAMA, K. KAWASE, T. TAIRA and H. MINAMIDE, “Study of Effective Terahertz-Wave Parametric Generation Depending on Pump Duration,” *7th International Workshop on Terahertz Technology and Applications* (2016).

Y. SATO and T. TAIRA, “Numerical Model for Thermal Parameters in Optical Materials,” *Laser Sources and Applications (Conference 9893), SPIE Photonics Europe 2016*, 9893-15 (2016).

H. H. LIM and T. TAIRA, “>0.5 MW Peak Power, Widely Pulse-Width Tunable Nd:YAG Ceramic Microchip Laser by Cavity Length Control,” *The 10th Asia-Pacific Laser Symposium (APLS 2016)*, Thu-P-95 (2016).

K. HAGITA, T. IKEO, Y. ISHIKAWA, Y. HIGASHI, N. JIKUTANI, T. TAIRA and T. SUZUDO, “Multi-Pulse Oscillation of Passively Q-Switched Micro-Laser Pumped by VCSEL Module,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC'16), OPIC'16, LIC3-2* (2016).

- V. YAHIA and T. TAIRA**, “Development of a 0.3 GW Microchip-Seeded Amplifier,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16*, LIC3-3 (2016).
- L. ZHENG and T. TAIRA**, “1 kHz Repetition Rate, Giant-UV-Pulse Generation in [100] Nd:YAG/[110] Cr:YAG Micro-Laser Under Intensive Pulse Pumping,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16*, LICp-5 (2016).
- Y. SATO and T. TAIRA**, “Polarization Dependence of Saturable Absorption in Cr:YAG,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16*, LICp-6 (2016).
- A. KAUSAS, P. LOISEAU, G. AKA, Y. ZHENG and T. TAIRA**, “Temperature Stable Giant-Pulse Green Micro-Laser,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16*, LIC7-3 (2016).
- H. H. LIM and T. TAIRA**, “Minimum Air-Breakdown Energy Using Giant-Pulse Width Tunable System Based on Microchip Laser,” *The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16*, LIC9-3 (2016).
- S. HAYASHI, K. NAWATA, H. ISHIZUKI, K. MURATE, K. IMAYAMA, Y. TAKIDA, Y. TOKIZANE, T. TAIRA, K. KAWASE and H. MINAMIDE**, “Study on Parametric Gain of Nonlinear Wavelength Conversion in a LiNbO₃,” *The 5th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS’16), OPIC’16*, ALPSp14-34 (2016).
- M. BAUDISCH, H. PIRES, U. ELU, H. ISHIZUKI, T. TAIRA and J. BIEGERT**, “44 μJ, 160 kHz, few-cycle mid-IR OPCPA with chirp reversal,” *CLEO 2016*, STu3L.5 (2016).
- Y. SATO and T. TAIRA**, “Initial Behavior of the Relaxation Oscillation at Zero-Phonon Line of Yb Gain Media,” *CLEO 2016*, JTu5A.33 (2016).
- T. GOTO, R. MORIMOTO, J. PRITCHARD, T. YOSHIMOTO, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, L. P. BOEY, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE**, “Diode Laser Pumped Solid State Laser Using Magneto-Optical Q Switch,” *CLEO 2016*, JTu5A.34 (2016).
- C. K. D. SUDDAPALLI, J. WEI, A. J. DEBRAY, V. KEMLIN, B. BOULANGER, H. ISHIZUKI, T. TAIRA and M. EBRAHIM-ZADEH**, “Picosecond Mid-Infrared Optical Parametric Oscillator Based on Cylindrical MgO:PPLN,” *CLEO 2016*, STh1P.2 (2016).
- H. ISHIZUKI and T. TAIRA**, “Periodic Laminar Structured Quartz for Intense-Laser Pumped Wavelength Conversion,” *7th EPS-QEOD Europhoton Conference*, PO-1.13 (2016).
- R. MORIMOTO, T. GOTO, J. PRITCHARD, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, P. B. LIM, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE**, “Downsizing of Magneto-Optical Q-Switch Using Magnetic Garnet Films,” *The 40th Annual Conference on MAGNETICS in Japan*, 6pB-1 (2016).
- H. LIM and T. TAIRA**, “Continuously Pulse Width Tunable Nd:YAG Ceramic Micro Giant-Pulse Laser for Laser Induced Breakdown,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers (ASSL)*, JTu2A.35 (2016).
- Y. SATO and T. TAIRA**, “Polarization Dependence of Saturable Absorption Characteristics in Cr⁴⁺:YAG,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers (ASSL)*, ATu3A.3 (2016).
- A. KAUSAS, P. LOISEAU, G. AKA, Y. ZHENG and T. TAIRA**, “Temperature Stable Operation of YCOB Crystal for Giant-Pulse Green Micro-Laser,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers (ASSL)*, ATu5A.7 (2016).
- T. GOTO, R. MORIMOTO, J. PRITCHARD, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, H. UCHIDA, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE**, “Actively Controlled Q-Switched Laser Using Domains in Magneto-optical Garnet Film,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers (ASSL)*, ATh4A.7 (2016).

J. YUE, T. TAMADA, M. KAMATA, L. ZHENG, H. ISHIZUKI and T. TAIRA, “>2 MW Peak Power at 1560 nm from Micro Giant-Pulse Laser/Amplifier with PPMgLN OPG,” *OSA Topical Meeting on Advanced Solid-State Lasers (ASSL)*, ATh4A.8 (2016).

B-3) 総説, 著書

D. J. HAGAN, J. DADAP, Y. LU, N. C. PANOIU, M. SHEIK-BAHAE and T. TAIRA, “Introduction: Nonlinear Optics (NLO) 2015 Feature Issue,” *Opt. Mater. Express* **6**, 466–468 (2016). (Opening Article)

K. GALLO, Y. JEONG, T. TAIRA, S. JIANG and F. ILDAY, “Focus Issue Introduction: Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2015,” *Opt. Express* **24**, 5674–5682 (2016). (Opening Article)

平等拓範, 「レーザ点火技術の最新動向～自動車エンジンからコージェネレーションガスエンジンまで」, *電気学会誌* **136**, 296–300 (2016).

平等拓範, 「マイクロドメイン制御によるハイパワーレーザー材料」, *応用物理* **85**, 863–869 (2016).

B-4) 招待講演 (* 基調講演)

平等拓範, 「ジャイアントマイクロフォトニクスのエネルギ展開——ユビキタス・ハイパワーレーザー——」, 日本学術振興会 Science Café, 日本学術振興会ワシントン研究連携センター, ワシントンDC (米国), 2016年2月.

T. TAIRA, “Laser ignitions for energy solution,” 7th International Symposium on Optical Materials (IS-OM7), Lyon (France), February 2016.

平等拓範, 「パネルディスカッション ニッポンの向かう先はいずこか? 導入トーク: 光・レーザー先端研究における世界の潮流・国際戦略分析——Photonic West を中心として——」, 光産業技術振興協会第4回光材料・応用技術研究会, 東京, 2016年3月.

平等拓範, “Giant Micro-Photonics for Energy—Micro-Domain Controlled Lasers Using Magnetic Field and Spin–Orbit Interaction—,” 第100回磁性研ゼミナール, 豊橋技術科学大学, 豊橋, 2016年3月.

T. TAIRA, “Opening remarks for LIC,” LIC plenary session, The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16, Yokohama (Japan), May 2016.* (*Plenary Talk*)

T. SUZUDO, K. HAGITA, T. IKEO, K. IZUMIYA, N. JIKUTANI, Y. HIGASHI and T. TAIRA, “Total Design of High Power VCSEL Pumped Passively Q-Switched Micro-Lasers for Laser Ignition,” The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16, Yokohama (Japan), May 2016.

R. BHANDARI, K. TOJO and T. TAIRA, “Development of UV Microchip Lasers for Compact MALDI Spectroscopy Systems,” The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16, Yokohama (Japan), May 2016.

T. SAKAMOTO, K. OHISHI, Y. FURUKAWA, L. ZHENG and T. TAIRA, “A Flange-Mounted UV Microchip Laser for Imaging Mass Spectrometry,” The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16, Yokohama (Japan), May 2016.

T. GOTO, R. MORIMOTO, J. W. PRITCHARD, T. YOSHIMOTO, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, P. B. LIM, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE, “Magneto–Optical Q-Switching with Magnetic Garnet Film,” The 4th Laser Ignition Conference (LIC’16), OPIC’16, Yokohama (Japan), May 2016.

平等拓範, 「レーザー点火技術と波及効果」, レーザー特別セミナー「自動車の安全を支える光技術」, OPTICS & PHOTONICS International Exhibition 2016 (OPIC’16), パシフィコ横浜, 横浜, 2016年5月.

平等拓範,「テラヘルツ波発生用のマイクロチップレーザー」,日本学術振興会第303回光エレクトロニクス第130委員会,静岡大学工学部S-Port,静岡,2016年7月.

平等拓範,「マイクロ固体フォトンクスによる小型ジャイアントパルスレーザー」,レーザー学会東京支部セミナー第27回「若手技術者のためのレーザー応用セミナー」,慶應義塾大学,横浜,2016年7月.

平等拓範,「マイクロレーザーの新展開と生体光イメージングへの可能性」,日本学術振興会第1回光エレクトロニクス第185委員会,アクトシティ浜松,浜松,2016年7月.

平等拓範,「自動車へのレーザー応用加速の理由(ガイダンス)」,光産業技術振興協会第2回光材料・応用技術研究会,東京,2016年8月.

T. TAIRA, “Micro-Domain Control Toward New Lasers,” The 40th Annual Conference on MAGNETICS in Japan, Kanazawa (Japan), September 2016.

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics for Engine Ignition and Sensing,” International Conference “Global/Local Innovations for Next Generation Automobiles,” Sendai (Japan), October 2016.

T. TAIRA, “GW-Class Giant-Pulse Micro-Lasers by Using Domain Control,” CerSJ-GOMD Joint Symposium on Glass Science and Technologies, Kyoto (Japan), November 2016.

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics for Engine Ignition,” The Third Symposium on Combustion Diagnostics, Xi’an (China), November 2016.

T. TAIRA, “Giant Micro-photonics for Ubiquitous Power Laser,” Xi’an Institute of Optics and Precision Mechanics (XIOPM), Xi’an (China), November 2016.

T. TAIRA, “Giant Micro-photonics for Ubiquitous Power Laser,” University of Beijing, Beijing (China), November 2016.

T. TAIRA, “Giant Micro-Photonics for Energy,” Laboratory for Nanoscale Optics, John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences, Harvard University, Cambridge (U.S.A.), November 2016.

平等拓範,「マイクロ固体フォトンクスによる高輝度テラヘルツ波生成」,名古屋市工業研究所,公益財団法人名古屋産業振興公社,テラヘルツ応用技術講演会〜テラヘルツ波の応用可能性と展望〜,名古屋市工業研究所,名古屋,2016年11月.

T. TAIRA, “Domain Control Toward MW to Sub-GW Giant-Pulse Micro-Lasers,” 12th Laser Ceramics Symposium (LCS2016), Saint-Louis (France), November 2016.

平等拓範,「接合・界面制御と固体レーザーの高性能化」,日本学術振興会第7回接合界面創成技術第191委員会,東京大学工学部,東京,2016年12月.

B-5) 特許出願

特願 2016-002667,「受動Qスイッチレーザー装置」,平等拓範,カウシャス アルヴィダス,鄭麗和(自然科学研究機構),2016年.

特願 2016-116603,「レーザー装置とその製造方法」,平等拓範,カウシャス アルヴィダス,鄭麗和,ヤヒア ヴァンサン,安原亮(自然科学研究機構),2016年.

特願 2016-161228,「パルス光発生装置」,石月秀貴,平等拓範(自然科学研究機構),2016年.

特願 2016-174793,「選択増幅装置」,平等拓範,ヤヒア ヴァンサン(自然科学研究機構),2016年.

特願 2016-211991,「レーザー部品」,平等拓範,カウシャス アルヴィダス,鄭麗和(自然科学研究機構),2016年.

特願 2016-242700,「皮膚レーザー治療器」,高橋勉,高橋一哲,平等拓範(ユニタック,自然科学研究機構),2016年.

B-6) 受賞, 表彰

斎川次郎, 応用物理学会北陸支部発表奨励賞 (1998).

平等拓範, 第23回(社)レーザー学会業績賞(論文賞)(1999).

平等拓範, 第1回(財)みやぎ科学技術振興基金研究奨励賞 (1999).

平等拓範, 他, 第51回(社)日本金属学会金属組織写真奨励賞 (2001).

庄司一郎, 第11回(2001年秋季)応用物理学会講演奨励賞 (2001).

平等拓範, 他, (社)日本ファインセラミックス協会技術振興賞 (2002).

平等拓範, 文部科学省文部科学大臣賞(第30回研究功績者) (2004).

N. PAVEL, The ROMANIAN ACADEMY Awards, The “Constantin Miculescu” Prize (2004).

斎川次郎, 佐藤庸一, 池末明生, 平等拓範, 第29回(社)レーザー学会業績賞(進歩賞)(2005).

秋山 順, 愛知県若手研究者奨励事業第2回「わかしゃち奨励賞(優秀賞)」(2008).

平等拓範, 第24回光産業技術振興協会櫻井健二郎氏記念賞 (2008).

秋山 順, 第26回(2009年春季)応用物理学会講演奨励賞 (2009).

栗村 直, 平等拓範, 谷口浩一, 三菱電線工業(株)平成21年度発明考案表彰(アメリカ特許 7106496号「波長変換用, 光演算用素子」他) (2010).

平等拓範, 米国光学会(OSA)フェロー (2010).

常包正樹, 猪原孝之, 安藤彰浩, 木戸直樹, 金原賢治, 平等拓範, 第34回(社)レーザー学会業績賞(論文賞)オリジナル部門 (2010).

平等拓範, 米国電気電子学会(IEEE)シニア・メンバー (2011).

平等拓範, 国際光工学会(SPIE)フェロー (2012).

石月秀貴, 平等拓範, 第37回(社)レーザー学会業績賞(進歩賞) (2013).

平等拓範, 米国電気電子学会(IEEE)フェロー (2014).

T. GOTO, R. MORIMOTO, J. PRITCHARD, N. PAVEL, T. YOSHIMOTO, H. TAKAGI, Y. NAKAMURA, P. B. LIM, M. MINA, T. TAIRA and M. INOUE, MORIS2015 Best Poster Award, 147th Committee on Amorphous and Nano-Crystalline Materials, Japan Society for the Promotion of Science (2015).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

レーザー学会レーザー素子機能性向上に関する専門委員会幹事 (1997–1999).

レーザー学会研究会委員 (1999–).

電気学会高機能全固体レーザと産業応用調査専門委員会幹事 (1998–2002).

レーザー学会レーザー用先端光学材料に関する専門委員会委員 (2000–2002).

光産業技術振興協会光材料・応用技術研究会幹事 (2004–).

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)評価委員 (2005–2006), 技術委員 (2011–2013), 事前書面審査 (2013–2018).

レーザー学会評議員 (2005–).

レーザー学会「マイクロ固体フォトニクス」専門委員会主査 (2006–2009).

米国光学会 Optical Society of America (OSA) 非線形光学テクニカル・グループ議長 (2008–2012).
 応用物理学会日本光学会レーザーディスプレイ技術研究グループ顧問 (2008–2012), 実行委員 (2012–).
 財団法人光産業技術振興協会多元技術融合光プロセス研究会幹事 (2009–2017).
 科学技術交流財団「ジャイアントマイクロフォトニクス」研究会座長 (2009–2011).
 レーザー学会「マイクロ固体フォトニクスの新展開」専門委員会主査 (2009–2012).
 米国光学会 The Optical Society (OSA) フェロー (2010–).
 科学技術交流財団「ジャイアントマイクロフォトニクス II」研究会座長 (2011–2013).
 レーザー学会「マイクロ固体フォトニクス」技術専門委員会主査 (2012–2018).
 国際光工学会 The International Society for Optical Engineering (SPIE) (米国) フェロー (2012–).
 科学技術交流財団「ジャイアントマイクロフォトニクス III」研究会座長 (2013–2015).
 米国光学会 The Optical Society (OSA) 評議員 (Council, Board of Meeting) (2014–).
 米国電気電子学会 The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) フェロー (2014–).
 科学技術交流財団「ジャイアントマイクロフォトニクス IV」研究会座長 (2015–2017).
 米国光学会 The Optical Society (OSA), Charles Hard Townes Award 表彰委員会委員 (Award Committee) (2015–2016).
 4th Laser Ignition Conference (LIC'16) 国際会議統括議長 (2015–2016).
 SPIE Photonics Europe 2016—Laser Sources and Applications (EPE111) 国際会議委員会共同議長 (2015–2016).
 日本燃焼学会「レーザー点火研究分科会」研究委員会研究分科会主査 (2016).
 7th EPS (欧州物理学会) —QEOD Europhoton Conference, Research in Laser Science and Applications Prize 2016 国際会議審査員 (2016).
 第24回国際光学委員会総会 (ICO-24), Nonlinear Optics カテゴリチェア (2016–2017).
 5th Laser Ignition Conference (LIC'17) 国際会議プログラム委員会議長 (2016–2017).
 米国光学会 (OSA) Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2017 国際会議統括議長 (2016–2017).

学会の組織委員等

OSA, Advanced Solid-State Photonics (ASSP 2008) 国際会議プログラム委員会共同議長 (2007–2008).
 OSA, Nonlinear Optics (NLO 2009) 国際会議プログラム委員会共同議長 (2008–2009).
 CLEO/PacificRim 2009 国際会議分科委員会共同議長 (2008–2009).
 OSA, Advanced Solid-State Photonics (ASSP 2009) 国際会議プログラム委員会共同統括議長 (2008–2009).
 OSA, Nonlinear Optics (NLO 2011) 国際会議プログラム委員会共同統括議長 (2010–2011).
 1st Laser Ignition Conference (LIC'13) 国際会議プログラム委員会共同統括議長 (2012–2015).
 LASERS 2001 国際会議プログラム委員 (2001).
 レーザー学会学術講演会プログラム委員 (2001, 2004, 2006).
 CLEO/PacificRim 2005 国際会議プログラム委員 (2004–2005).
 OSA, Advanced Solid-State Photonics 国際会議プログラム委員 (2005–2010).
 23rd International Laser Radar Conference 国際会議実行委員 (2005–2006).
 Int. Conf. “Micro- to Nano-Photonics—ROMOPT 2006” プログラム委員 (2005–2006).
 CLEO, Nonlinear Optics Application 国際会議分科委員 (2006–2009).
 OSA, Nonlinear Optics 国際会議プログラム委員 (2006–2011).

3rd Laser Ceramics Symposium: International Symposium on Transparent Ceramics for photonic applications 国際会議諮問委員 (2006–2007).

APLS 2008 国際会議プログラム委員 (2007–2008).

3rd EPS Europhoton Conference on Solid-State and Fiber Coherent Light Sources 国際会議分科委員 (2007–2008).

レーザー学会学術講演会第28回年次大会実行委員会委員 (2007).

レーザー・光波・マイクロ波国際会議2008 (ILLMC2008) 国際学会諮問委員 (2008).

International Workshop on Holographic Memories (IWHM) 2008 プログラム委員会委員 (2008).

OECC2008「CLEO Focus: Frontiers in Photonics」プログラム分科委員会委員 (2008).

4th Laser Ceramics Symposium: International Symposium on Transparent Ceramics for Laser 国際会議諮問委員 (2008).

Int. Conf. “Micro- to Nano-Photonics II —ROMOPT 2009” プログラム委員 (2008–2009).

レーザー学会学術講演会第30回年次大会実行委員会委員 (2009).

4th Europhoton Conference on “Solid-State, Fiber and Waveguide Coherent Light Sources” 国際会議分科委員 (2009–2010).

International Workshop on Holographic Memories & Display (IWHM&D2010) 国際会議プログラム委員会委員 (2010).

Lasers and Their Applications Symposium, Photonics Global Conference 2010 国際会議テクニカル・プログラム委員会委員 (2010).

EQEC 2011, Fundamentals of Nonlinear Optics 国際会議分科委員 (2010–2011).

Advances in Optical Materials (AIOM 2011) 国際会議プログラム委員会委員 (2010–2011).

CLEO 2011: Science & Innovations 2: Solid-State, Liquid and Gas Lasers 国際会議諮問委員 (2010–2011).

IQEC/CLEO Pacific Rim 2011, Ultrafast Optics and Photonics 国際会議分科委員会諮問委員 (2010–2011).

Laser Ceramics Symposium (7th LCS): International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications 国際会議国際諮問委員 (2011).

Pacific Rim Laser Damage Symposium—Optical Materials for High Power Lasers 国際委員会委員 (2011).

Advances in Optical Materials (AIOM 2012) 国際会議プログラム委員会委員 (2011–2012).

4th International Conference on “Smart Materials, Structures and Systems” (CIMTEC 2012), Symposium F “Smart & Adaptive Optics” 国際会議国際諮問委員 (2011–2012).

Optics & Photonics International Congress 2012 (OPIC2012), Advanced Laser & Photon Source (ALPS'12) 国際会議実行委員会およびプログラム委員会委員 (2011–2012).

5th EPS Europhoton Conference on “Solid-State and Fiber and Waveguide Coherent Light Sources” 国際会議分科委員 (2011–2012).

Laser Damage of SPIE プログラム委員 (2011–2012).

(社)レーザー学会学術講演会第32回年次大会プログラム委員 (2011–2012).

Int. Conf. “Micro- to Nano-Photonics III —ROMOPTO 2012” 国際会議プログラム委員 (2011–2012).

レーザー学会レーザーの農業応用専門委員会委員 (2012–2014).

APLS 2012 国際会議プログラム委員 (2012–2012).

レーザー学会諮問員 (2012–2015).

レーザー学会レーザー照明・ディスプレイ専門委員会委員 (2012–2015).

CLEO 2013: Science & Innovations 02: Solid-State, Liquid, Gas, and High-Intensity Lasers 国際会議諮問委員 (2012–2013).

レーザー学会レーザー衝撃科学の基礎と応用専門委員会委員 (2012–2015).

Optics & Photonics International Congress 2013 (OPIC2013) 国際会議組織委員会委員 (2012–2013).

International Workshop on Holography and related technologies 2012 (IWH 2012) 国際会議プログラム委員会委員 (2012).

8th Laser Ceramics Symposium (LCS): International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications 国際会議プログラム委員会委員 (2012).

SPIE/SIOM Pacific Rim Laser Damage 2013 国際会議国際委員会委員 (2012–2013).

CLEO-PR 2013 国際会議プログラム委員会委員 (2012–2013).

Materials Committee, Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2013 国際会議プログラム委員会委員 (2012–2013).

International Workshop on Holography and Related Technologies 2013 (IWH 2013) 国際会議プログラム委員会委員 (2013).

Optics & Photonics International Congress 2014 (OPIC2014) 国際会議組織委員会委員 (2013–2014).

9th Laser Ceramics Symposium (LCS): International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications 国際会議諮問委員 (2013).

SPIE Photonics Europe 2014 —Laser Sources and Applications (EPE111) 国際会議委員会共同議長 (2013–2014).

応用物理学学会学術講演会プログラム編集委員会委員 (2013–2014).

Materials Committee, Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2014 国際会議プログラム委員会委員 (2013–2014).

Optics & Photonics International Congress 2015 (OPIC2015) 国際会議組織委員会委員 (2014–2015).

大阪大学光科学センター可視光半導体レーザー応用コンソーシアム応用課題検討専門委員会委員 (2014–2016).

10th Laser Ceramics Symposium (LCS2014): International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications 国際会議諮問委員 (2014).

2nd Laser Ignition Conference (LIC' 14) 国際会議プログラム委員会統括議長 (2013–2014).

3rd Pacific-rim Laser Damage (PLD' 14) 国際会議プログラム委員会委員 (2013–2014).

3rd Laser Ignition Conference (LIC' 15) 国際会議プログラム委員会統括議長 (2014–2015).

SPIE Photonics West 2015—Components and Packaging for Laser Systems (Conference 9346) 国際会議プログラム委員会委員 (2014–2015).

SPIE/SIOM Pacific Rim Laser Damage 2015 国際会議国際委員会委員 (2015).

The 11th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PacRim-11), III. NANOTECHNOLOGY AND STRUCTURAL CERAMICS, Symposium 16—Transparent Ceramics 幹事 (2015).

Materials Committee, Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2015 国際会議プログラム委員会委員 (2015).

Nonlinear Optics (NLO) 2015 国際会議諮問委員 (2015).

SPIE Photonics West 2016—Components and Packaging for Laser Systems II (Conference LA105) 国際会議プログラム委員会委員 (2015–2016).

(社)レーザー学会学術講演会第36回年次大会プログラム委員(担当: B. レーザー装置主査) (2015–2016).

Optics & Photonics International Congress 2016 (OPIC2016) 国際会議組織委員会委員 (2015–2016).

Nonlinear Optics (NLO) 2017 国際会議諮問委員 (2015–2017).

SPIE/SIOM Pacific-Rim Laser Damage (PLD' 16) 国際会議国際委員会委員 (2015–2016).

国立研究開発法人科学技術振興機構革新的研究開発推進プログラム(ImPACT) 評価協力者 (2015–2017).

SPIE/SIOM Pacific Rim Laser Damage 2017 (PLD2017) 国際会議国際委員会委員 (2016–2017).

SPIE Photonics West 2016—Components and Packaging for Laser Systems II (Conference LA105) 国際会議プログラム委員会委員 (2016–2017).

Materials Committee, Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2016 国際会議プログラム委員会委員 (2016).

12th Laser Ceramics Symposium (LCS2016): International Symposium on Transparent Ceramics for Photonic Applications 国際会議プログラム委員会委員 (2016).

Optics & Photonics International Congress 2017 (OPIC2017) 国際会議組織委員会委員 (2016–2017).

The 6th Laser Display and Lighting Conference (LDC2017) 国際会議プログラム委員会委員 (2016–2017).

Advanced Lasers & Photon Sources (APLS' 17) 国際会議プログラム委員会委員 (2016–2017).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター専門調査員 (2006–).

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員及び国際事業委員会書面審査員 (2008–2010).

日本学術振興会光エレクトロニクス第130委員会委員 (2007–), 幹事 (2008–).

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員 (2011–2013, 2015–2016).

日本学術振興会生体ひかりイメージング技術と応用第185委員会委員 (2011–2017).

学会誌編集委員

Journal of Optical Materials, ELSEVIER, 編集委員会委員 (2010–2013).

Journal of Optical Materials Express, The Optical Society (OSA), シニア編集委員会委員 (2010–2016).

Fibers (<http://www.mdpi.com/journal/fibers>, ISSN 2079-6439), MDPI, 編集委員会委員 (2012–2013).

IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics (JSTQE) on Solid-State Lasers, The Primary Guest Editor for this issue (2013–2015).

Nonlinear Optics (NLO) 2015 Feature Issue, *Opt. Mater. Express* **6**, 466–468 (2016), ゲスト編集委員 (2015–2016).

Advanced Solid State Lasers (ASSL) 2015 Feature Issue, *Opt. Express* **24**, 5674–5682 (2016), ゲスト編集委員 (2015–2016).

その他

愛知県産業労働部愛知県若手奨励賞審査員 (2007–2010).

日本原子力研究開発機構研究系職員採用試験研究業績評価委員会委員 (2008–2011).

日本原子力研究開発機構任期付研究員研究業績評価委員会委員 (2011–2016).

B-8) 大学での講義, 客員

総合研究大学院大学物理科学研究科, 「光エレクトロニクス」, 2016年7月19日, 9月6日.

豊橋技術科学大学, 客員教授, 2016年–.

B-10) 競争的資金

地域新生コンソーシアム, 「ヒートシンク一体型 Yb:YAG マイクロチップデバイスの開発」, 平等拓範 (2004年–2005年).

NEDO, 「カラーリライタブルプリンタ用高効率小型可視光光源 “Tri Color Laser” の研究開発」, 再委託 (研究代表 リコー) (2004年–2006年).

科学技術振興機構研究成果活用プラザ東海, 実用化のための育成研究, 「光波反応制御内燃機関をめざしたマイクロレーザの研究開発」, 平等拓範 (2006年–2008年).

科学技術振興機構先端計測分析技術・機器開発事業,「イオン化光源としてのマイクロチップレーザーの開発」,再委託(研究代表 東京工業大学)(2007年-2009年).

科研費若手研究(B),「マグネシウム添加タンタル酸リチウムを用いた高効率・高出力中赤外レーザー発生」,石月秀貴(2007年-2008年).

科学技術振興機構産学共同シーズイノベーション化事業,育成ステージ,「車載型マイクロレーザ点火エンジンの低燃費・高出力特性の実証研究」,研究リーダー,平等拓範(シーズ育成プロデューサー (株)日本自動車部品総合研究所)(2008年-2011年).

科研費基盤研究(B),「小型可搬な広帯域波長可変中赤外レーザーの開発研究」,平等拓範(2009年-2011年).

科学技術振興機構先端計測分析技術・機器開発プログラム(機器開発タイプ),「次世代質量イメージングのためのUVマイクロチップレーザーを用いた計測システムの開発」,平等拓範(2010年-2013年).

科研費基盤研究(C),「超短パルス発生への適用を目指した傾斜型擬似位相整合デバイスの研究」,石月秀貴(2010年-2012年).

科学技術交流財団平成24年度共同研究推進事業,「エンジン点火用高輝度マイクロチップレーザー」,研究統括者 平等拓範(2012年-2013年).

科研費基盤研究(C),「大口径広帯域擬似位相整合デバイスを用いた高出力超短パルス発生」,石月秀貴(2013年-2015年).

科学技術振興機構先端計測分析技術・機器開発プログラム(実証・実用化タイプ),「次世代質量イメージング用UVマイクロチップレーザー」の実用実証化」,平等拓範(2013年-2015年).

NEDO 戦略的省エネルギー技術革新プログラム,「高性能ジェイアントパルスマイクロチップレーザー (GP-MCL)の開発」,再委託(研究代表 リコー, デンソー)(2013年-2017年).

革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)「ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現(佐野PM)」,「マイクロチップレーザーの開発」,平等拓範(2014年-2018年).

科研費基盤研究(A),「マイクロ固体フォトニクスによる次世代レーザー点火・燃焼計測」,平等拓範(2015年-2017年).

文部科学省平成28年度技術試験研究委託事業,「先進的光計測技術を駆使した炉内デブリ組成遠隔その場分析法の高度化研究」,再委託(研究代表原子力機構廃炉国際共同研究センター若井田育夫),平等拓範(2016年-2018年).

B-11) 産学連携

(株)コンボン研究所,「マイクロ固体フォトニクスの基礎研究」,平等拓範(2016年).

三菱電機(株),「高ピーク小型レーザの波長制御技術」,平等拓範(2016年).

ソニー(株),「1.5 μm 帯高出力マイクロチップレーザーの開発」,平等拓範(2016年).

C) 研究活動の課題と展望

先端的レーザー光源の中で,特にビーム高品質化(空間特性制御)ならびに短パルス化(時間特性制御)などの高輝度化,そしてスペクトルの高純度化を広い波長領域(スペクトル特性制御)でコンパクト化と同時に実現することは,極めて重要な課題である。すでに,マイクロ固体フォトニクスは,医療,バイオ,エネルギー,環境,ディスプレイ,光メモリ分野での展開が図られつつある。特にエネルギー分野からエンジンのレーザー点火への期待は高い。一方で,コヒーレントX線からテラヘルツ波発生,超高速レーザーの極限であるアト秒発生,さらには量子テレポーテーション等の光科学の最先端分野も,このキーワードで深化しつつあり,その学術的拠り所としての基盤構築が必要な時期となっている。

藤 貴 夫 (准教授) (2010年2月1日着任)

A-1) 専門領域：量子エレクトロニクス，レーザー物理，非線形光学，超高速分光

A-2) 研究課題：超短光パルスの研究

- a) 超短光パルスの超広帯域波長変換技術を使った分光法の開発
- b) 超短光パルスの位相制御，評価の研究
- c) 赤外ファイバーレーザーの開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 本研究室において，2 から 20 μm までの波長領域で位相の揃ったコヒーレントな赤外光パルスを発生する技術と，そのスペクトルを単一ショット (1 ms) で計測できる方法を開発した。この波長領域の光は，多くの分子振動準位と共鳴しており，非破壊で分子のダイナミクスを研究するのに適している。今年度の成果としては，その高速赤外スペクトル分光法を化学反応ダイナミクスの研究に応用したことである。この装置によって，酢酸とマグネシウムの反応ダイナミクスを，赤外吸収スペクトルの変化によって観測することができた。酢酸とマグネシウムを混合することで，酢酸マグネシウムと水素が発生するが，酢酸の CO 二重結合に由来する吸収線が，反応が進むにつれて減少し，酢酸マグネシウムにおける COO⁻ の伸縮モードに由来する吸収線が増加する様子がリアルタイムに観測することができた。2 から 20 μm までの波長領域で化学反応ダイナミクスをリアルタイムで計測したのは，世界ではじめてのことである。
- b) 数年前に開発した超短光パルスの光電場波形を直接計測する手法を発展させ，自己参照による光電場波形計測に成功した。パルス幅 21 fs，中心波長 3.3 μm のパルスを二つに分け，その二倍波と自己回折光との干渉信号を測定することで，パルスのキャリア・エンベロープ位相を測定できた。それと同時に，第二高調波周波数分解光ゲート法によって，パルスの強度の時間変化も測定し，それらの情報を組み合わせることで，周期 11 fs で振動する光電場の波形を完全に再現することができた。自己参照によって光電場波形測定ができたことによって，測定したい光電場パルスに対して，測定用に別のパルスを用意する必要がなくなった。このことは，光科学の分野で画期的なことであり，今後の応用が期待される。
- c) 一般的に，波長変換において，変換元と変換先との波長がなるべく近いほうが，変換効率の向上が見込まれる。2-20 μm の赤外光パルス発生において，チタンサファイアレーザーよりも長波長の超短光パルスを波長変換元の光源として使用すれば，より高効率に赤外光パルスを発生できると考えられる。前年度にはトリウム添加フッ化物ファイバーレーザー発振器を開発し，2 μm の波長で 41 fs のパルスを発生させることに成功した。今年度は，そのパルスを増幅するフッ化物ファイバー増幅器を製作した。発振器からの平均出力 36 mW を最大 6.9 W，すなわち約 200 倍に増幅することに成功した。さらに，この出力パルスをパルス圧縮光学系によって圧縮することにより，時間幅が 150 fs のパルスが得られた。一般的には，増幅媒質として，石英ファイバーを用いることがほとんどであるが，本研究では，フッ化物ファイバーを用いることによって，はるかに高い効率で増幅することができた。ZBLAN ファイバーは熱に弱いために増幅器には不向きと考えられてきたが，今回の結果は，超高出力が必要ない場合には ZBLAN ファイバーのほうが増幅に有利であることを意味しており，レーザー増幅のための新たな指針を示すことができた。

B-2) 国際会議のプロシーディングス

Y. NOMURA and T. FUJI, “Development of chirped-pulse amplifier based on Thulium-doped ZBLAN fibers,” *EuroPhoton2016*, FWG-5.7 (2016).

P. MALEVICH, C. LIVACHE, Y. NOMURA, A. BALTUŠKA and T. FUJI, “2 mJ ring cavity diode-pumped Tm:YAP regenerative amplifier,” *EuroPhoton2016*, PO-2.6 (2016).

H. SHIRAI, Y. NOMURA and T. FUJI, “Self-Referenced Waveform Measurement of Few-Cycle Mid-Infrared Pulses,” *International Conference on Ultrafast Phenomena 2016*, UTh2A-5 (2016).

T. FUJI, H. SHIRAI and Y. NOMURA, “Self-referenced frequency-resolved optical gating capable of carrier-envelope phase determination,” *CLEO: Science and Innovations 2016*, SM3I-7 (2016).

B-4) 招待講演

T. FUJI, “Sub-cycle mid-infrared pulse generation through filamentation,” COFIL2016, Quebec City (Canada), September 2016.

T. FUJI, “Self-referenced light wave measurement of few-cycle pulses,” International Symposium on Attosecond Science, Tokyo (Japan), July 2016.

T. FUJI, “Self-Referenced Waveform Characterization of Ultrashort Pulses,” LPHYS'16, Yerevan (Armenia), July 2016.

T. FUJI, “Generation and characterization of sub-cycle mid-infrared pulses using THz technologies,” EMN Meeting on Terahertz, San Sebastian (Spain), May 2016.

藤 貴夫, 「Development of infrared ultrafast lasers for molecular science」, 統合バイオトリート2016, 西尾, 2016年11月.

藤 貴夫, 白井英登, 野村雄高, 「キャリア・エンベロープ位相も決定できる周波数分解光ゲート法」, 第13回エクストリームフォトニクス研究会, 蒲郡, 2016年11月.

藤 貴夫, 「サブサイクル中赤外光パルス発生とその応用」, 第3回超高速光エレクトロニクス研究会, 和光, 2016年4月.

藤 貴夫, 「超短赤外光パルスレーザー光源の最先端」, 高輝度・高強度赤外光源の現状と展望, 岡崎, 2016年2月.

野村雄高, 藤 貴夫, 「2 μ m 帯フェムト秒Tm 添加ZBLAN ファイバレーザ」, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, 名古屋, 2016年1月.

藤 貴夫, 「キャリア・エンベロープ位相も測定できる超短光パルス評価法」, レーザー学会学術講演会第36回年次大会, 名古屋, 2016年1月.

野村雄高, 「トリウム添加ファイバレーザによる2 μ m 帯超短パルスレーザーシステム」, 第47回極限コヒーレント光科学セミナー, 柏, 2016年11月.

B-6) 受賞, 表彰

藤 貴夫, 日本光学会奨励賞 (1999).

藤 貴夫, 大阪大学近藤賞 (2008).

藤 貴夫, 野村雄高, 白井英登, レーザー学会業績賞 (進歩賞) (2015).

野村雄高, 自然科学研究機構若手研究者賞 (2016).

B-7) 学会および社会的活動

学会の組織委員等

- CLEO/Europe 2005 座長 (2005).
- CLEO/USA 2005 座長 (2005).
- CLEO/Europe 2007 国際会議プログラム委員, 座長 (2007).
- 化学反応討論会実行委員 (2009).
- CLEO/Pacific Rim 2009 国際会議プログラム委員, 座長 (2009).
- CLEO/Europe 2009 座長 (2009).
- ICONO 2010 座長 (2010).
- HILAS 国際会議プログラム委員 (2011).
- CLEO/Europe 2011 国際会議プログラム委員 (2011).
- HILAS 国際会議プログラム委員, 座長 (2012).
- COFIL 2012 座長 (2012).
- CLEO/USA2013 座長 (2013).
- CLEO/Europe2013 国際会議プログラム委員 (2013).
- CLEO/Pacific Rim 2013 国際会議プログラム委員, 座長 (2013).
- HILAS 国際会議プログラム委員, 座長 (2014).
- CLEO/USA2014 国際会議プログラム委員, 座長 (2014).
- CLEO/USA2015 国際会議分科プログラム委員長 (2015–2016).
- CLEO/Europe2015 国際会議プログラム委員 (2015).
- レーザー学会学術講演会第35回年次大会プログラム委員会委員 (2014–2015).
- CLEO/USA2015 座長 (2015).
- CLEO/Europe2015 座長 (2015).
- レーザー学会「ファイバーレーザー技術」専門委員会委員 (2015–). (野村雄高)
- CLEO/USA2016 座長 (2016).
- CLEO/USA2016 座長 (2016). (野村雄高)

B-8) 大学での講義, 客員

- アジアコア冬の学校, 中国科学院化学研究所, 2016年2月27日.
- 総合研究大学院大学物理科学研究科, 「光物理」, 2016年7月1日–9月30日.

B-10) 競争的資金

- (独)理化学研究所研究奨励ファンド, 「搬送波包絡線周波数の安定した超短赤外光パルス発生」, 藤 貴夫 (2006年).
- 科研費若手研究(A), 「光電子イメージング分光のための10フェムト秒深紫外光パルス発生」, 藤 貴夫 (2007年–2008年).
- 自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト, 「プラズマを使ったフェムト秒中赤外光パルス発生の研究」, 藤 貴夫 (2010年–2011年).
- 科研費基盤研究(B), 「超広帯域コヒーレント中赤外光を用いた新しい分光法の開拓」, 藤 貴夫 (2012年–2014年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携研究プロジェクト,「超短中赤外パルスを用いた生細胞内分子の無染色ライブイメージング法の開発」,藤 貴夫 (2012年).

科学技術振興事業団先端計測分析技術・機器開発プログラム要素技術タイプ,「超広帯域コヒーレント赤外分光技術の開発」,藤 貴夫 (2012年-2015年).

科研費挑戦的萌芽研究,「自己参照による光電場の直接測定」,藤 貴夫 (2014年-2016年).

科研費特別研究員奨励費,「高次高調波発生による高繰り返し極端紫外光源の開発およびその応用」,野村雄高 (2010年).

豊秋奨学会海外渡航旅費助成,「153 nmにおけるコヒーレントな高繰り返し準連続光源」,野村雄高 (2011年).

光科学技術研究振興財団研究助成,「ツリウム添加ファイバーによるフェムト秒レーザーの開発」,野村雄高 (2012年-2013年).

科研費若手研究(B),「中赤外領域における高繰り返しフェムト秒パルス光源の開発」,野村雄高 (2013年-2014年).

光科学技術研究振興財団研究助成,「自己参照による光電場波形の直接計測」,藤 貴夫 (2015年-2016年).

科研費若手研究(B),「単一サイクル赤外光パルスを用いた高速赤外吸収分光」,白井英登 (2015年-2016年).

自然科学研究機構若手研究者による分野間連携プロジェクト,「新規赤外フェムト秒レーザーによる超深部シナプス内分子活性化イメージング」,藤 貴夫 (2015年-2017年).

天田財団一般研究開発助成,「高出力 2 μ m 超短パルスレーザー光源の開発」,野村雄高 (2015年-2017年).

科学技術振興機構ささかけ研究「生命機能メカニズム解明のための光操作技術」領域,「長波長レーザーによる超深部顕微分光システムの開発」,野村雄高 (2016年-2019年).

C) 研究活動の課題と展望

ファイブレーションを用いた波長変換は、気体を媒質としながらも、高効率な超短光パルスの波長変換法として有効であり、分子研において、この手法による超広帯域コヒーレント赤外光発生を実証してきた。さらに、この光源を使用して、分光を行うことにも成功した。今後も、これらの光源や分光法の特徴をいかし、分子科学の発展や、生物、医療など異分野へ応用していくことを考えている。また、本研究室で独自に開発した新しい光電場波形計測法を用いて、自己参照による光電場波形計測に成功した。この手法によって、光電場波形計測において、波長による制限は原理的に無くなった。これまで、この手法が実証されたのは、赤外光パルスだけであるが、今後、可視光領域でも実証したいと考えている。また、光電場波形に敏感な現象を本手法で観測し、新しい光科学の知見を得ることに期待している。ファイバーレーザーの開発では、ファイバー増幅器の開発に成功した。今後、赤外光発生のためのさらなる増幅や、多光子顕微鏡など、様々な分野へ応用することを考えている。